This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

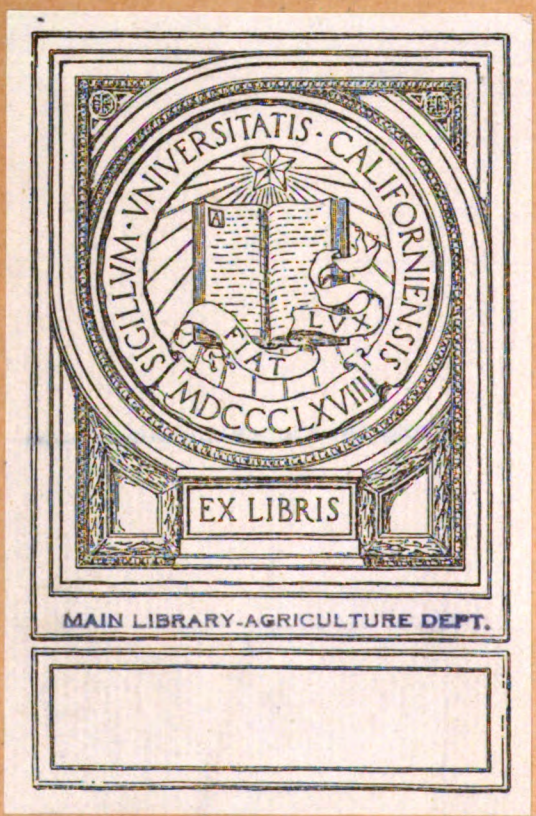
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Digitized by Google



Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

UNIV. OF CALIFORNIA

Meteorologia

МЕТЕОРОЛОГІЯ.

(ОБЩІЙ КУРСЪ).

A. Klossovskii
А. Клоссовскаго,

Профессора ИМПЕРАТОРСКАГО Новороссійскаго Университета.

pt I
Часть I.

СТАТИЧЕСКАЯ МЕТЕОРОЛОГІЯ.

(205 рисунковъ въ текстѣ и одна карта).

ОДЕССА.
«Экономическая» типографія, ул. Жуковскаго, № 43-й
1908.

Digitized by Google

UNIV. OF CALIFORNIA

QC 861 K6

Печатано по постановленію Совѣта Императорскаго Новороссійскаго Университета. Ректоръ *И. М. Запѣвскій.*

MAIN LIBRARY-AGRICULTURE DEPT.

Digitized by Google

Замѣченныя опечатки.

Стран.:	*Строка:*	*Напечатано:*	*Слѣдуетъ читать:*
4	20 сверху	$e=\frac{a-b}{a}$	$e=\frac{\sqrt{a^2-b^2}}{a}$
606	7 снизу	уменьшилась	увеличилась
606	9 снизу	упала	повысилась

Digitized by Google

UNIV. OF
CALIFORNIA

QC861
K6

Digitized by Google

UNIV. OF CALIFORNIA

Предлагаемый курсъ метеорологіи состоитъ изъ четырехъ частей.

Первая часть заключаетъ въ себѣ *статическую* метеорологію.

Вторая—посвящена изложенію *динамической метеорологіи*, *метеорологической оптики и ученія о магнито-электрическихъ свойствахъ земли.*

Обѣ эти части составляютъ *общій* отдѣлъ метеорологіи, для изученія котораго необходимо знаніе математики въ объемѣ курса среднихъ учебныхъ заведеній.

Въ **третьей** части изложены *спеціальные* отдѣлы и вопросы, требующіе знакомства съ высшимъ анализомъ.

Къ **четвертой** части отнесены *теорія и практика* геофизическихъ приборовъ.

48339

Digitized by Google

UNIV. OF
CALIFORNIA

Digitized by Google

UNIV. OF CALIFORNIA

Оглавленіе I-ой части.

Стр.

Введеніе 1

Міроздаліе (1). Солнечная система (4). Земля какъ движущаяся обсерваторія (8). Видъ и величина земли въ первомъ приближеніи (10). Обстоятельства суточнаго и годового движенія земли (12). Счисленіе времени (31). Луна (34). Фигура земли во второмъ приближеніи (37). Геоидъ (41). Средній уровень океана и его колебанія (46). Напряженіе тяжести на земной поверхности (51). Измѣненіе напряженія тяжести съ высотою мѣста наблюденія (56). Тяжесть на глубинѣ (58). Аномаліи въ распредѣленіи тяжести (60). Сейсмическія движенія (73). Горизонтальный маятникъ (75). Средняя плотность земли (78). Предполагаемое давленіе на различныхъ глубинахъ (79). Общія черты лика земли (80). Гипотеза Грина (86). Гипсометрическія ступени (87). Океаны и ихъ протяженіе (88). Расчлененіе береговой линіи (90). Понятіе о географическихъ проекціяхъ (92). Литературныя указанія (101).

I. Распространеніе и составъ атмосферы 106

Метеорологическое распространеніе атмосферы (106). Высота облаковъ (107). Красная заря 1883 года (108). Методъ Alhazen'a (110). Высота загоранія метеоритовъ (112). Исчезаніе голубой окраски неба (113). Полярныя сіянія (113). Затменіе луны (113). Уменьшеніе плотности воздуха съ высотою (114). Общіе результаты (114).

Digitized by Google

UNIV. OF CALIFORNIA

Процентное содержаніе основныхъ газовъ (117). Углекислота и другіе газы (121). Атмосферная пыль и пылемѣръ Айткена (127). Литературныя указанія (133).

II. **Физическія свойства атмосферы** 133

Законы Бойля-Маріотта и Гей-Люссака (133). Вѣсъ кубическаго метра воздуха (135). Давленіе воздуха (137). Барометрическая формула (138). Таблицы Шарнгорста и Фоглера (142). Формула Babinet и ея приложенія (144). Ходъ гипсометрической съемки (147). Приведеніе давленія къ уровню моря (150). Законъ Dalton'а и его слѣдствія (150). Высота однородной атмосферы (153). Теплоемкость воздуха при постоянномъ давленіи и постоянномъ объемѣ (153). Основное уравненіе механической теоріи тепла (155). Восходящіе и нисходящіе токи (156). Фёнъ (160). Теплопроводность воздуха (162). Свѣто- и теплопрозрачность воздуха (163). Литературныя указанія (166).

III. **Вода въ атмосферѣ** 168

Водяные пары въ атмосферѣ (168). Перегонка, гигроскопичность, расплываніе, высушиваніе (169). Элементы, характеризующіе гигрометрическое состояніе воздуха (174). Испареніе (178). Тепловой приходо-расходъ человѣческаго организма (179). Эвапорометры и результаты наблюденій (186). Гигрометры (188). Измѣненія гигрометрическаго состоянія во времени и въ пространствѣ (195). Распространеніе атмосферы паровъ по вертикальному направленію (199). Нѣкоторыя физическія постоянныя воздуха и воды (202). Литературныя указанія (210).

IV. **Непрерывная водная оболочка (океаны), ея распространеніе и свойства** 210

Океаническія глубины и методы ихъ опредѣленія (210). Рельефъ дна (214). Качество грунта океаническаго дна (219). Химія океа-

Digitized by Google

новъ (221). Методы опредѣленія общаго содержанія солей (223). Опредѣленіе удѣльнаго вѣса морской воды (224). Содержаніе хлора (225). Содержаніе различныхъ солей (226). Распредѣленіе солености (приведенной плотности) (227). Распредѣленіе дѣйствительной плотности (231). Роль солености въ физической жизни океана (234). Вопросъ о причинахъ солености океаническихъ водъ (238). Газы въ морской водѣ (240). Соображенія Clark'a объ общемъ составѣ атмосферы, водной оболочки и земной коры (242). Литературныя указанія (242).

V. Солнечное лучеиспусканіе 244

Радіація солнца и ея роль въ жизни нашей планеты (244). Составъ солнечной радіаціи (247). Напряженіе солнечной радіаціи (247). Тепловой методъ опредѣленія солнечнаго лучеиспусканія. Приборы Пулье и Крова (249). Приборъ Violle'я (255). Приборы Angström'a (259). Приборъ Михельсона (261). Статическій методъ (261). Приборы Хвольсона (263). Химическіе методы (265). Электрическіе методы (266). Результаты наблюденій. Дневные періоды (269). Объясненіе дневного хода радіаціи (278). Годовой ходъ радіаціи (280). Измѣненіе радіаціи съ высотою (281). Методы опредѣленія солнечной постоянной (284). Сущность экстраполяціи (284). Формулы Бугера и Віолля (287). Болометръ Лянгле (290). Величина солнечной постоянной (291). Поглощеніе и разсѣяніе въ атмосферѣ (292). Непосредственная утилизація солнечной энергіи (293). Геліографы (293). Литературныя указанія (294).

VI. Расходъ тепла 296

Потеря тепла путемъ лучеиспусканія (296). Качественныя опредѣленія Wells'a, Daniell'a, Boussingault и др. (297). Утренники (299). Количественныя измѣренія интенсивности ночныхъ лучеиспусканій (300). Температура атмосферы

Digitized by Google

(303). Температура мірового пространства (304). Литературныя указанія (304).

VII. Тепловое состояніе земной коры въ самыхъ верхнихъ ея слояхъ 305

Солнечный климатъ (305). Методы опредѣленія температуры почвы на поверхности и на различныхъ глубинахъ (308). Методъ Лямона (309). Методъ длинныхъ термометровъ (309). Термоэлектрическій способъ (310). Періодическія измѣненія температуры почвы (311). Методъ среднихъ чиселъ (313). Суточныя колебанія температуры поверхностнаго слоя (315). Передача суточныхъ колебаній вглубь (319). Изслѣдованія Homén'a (322). Слой постоянной суточной температуры (327). Годовая періодичность (328). Температура почвы въ лѣсу и въ открытомъ полѣ (334). Вліяніе наружнаго покрова (335). Измѣненія температуры почвы по вертикальному направленію въ отдѣльные моменты года (336). Слой постоянной годовой температуры (337). Средняя годовая температура слоевъ, лежащихъ на различныхъ глубинахъ (338). Вѣчная мерзлота (340). Промерзаніе почвы (342). Изоплеты (342). Литературныя указанія (344).

VIII. Тепловое состояніе земного ядра 345

Повышеніе температуры ниже слоя постоянной годовой температуры (345). Геотермометръ Магнуса (346). Результаты наблюденій въ шахтахъ, буровыхъ скважинахъ; геотермическая ступень (347). Наблюденія въ туннеляхъ (352). Вѣроятность высокихъ температуръ въ нѣдрахъ земли (353). Гипотезы относительно физическаго строенія земного ядра (354). Опыты Таманна (357). Новѣйшія воззрѣнія (359). Литературныя указанія (362).

IX. Тепловыя условія океановъ 362

Нагрѣваніе и охлажденіе водяной оболочки земли (362). Методы опредѣленія температуры

Digitized by Google

поверхностныхъ водъ (363). Методы опредѣленія температуры глубинныхъ водъ (364). Суточныя и годовыя колебанія (368). Географическое распредѣленіе температуры на поверхности океановъ (370). Распредѣленіе температуры по вертикальному направленію въ океанахъ (376). Распредѣленіе температуры по вертикальному направленію во внутреннихъ моряхъ (380). Особенность въ распредѣленіи температуры нѣкоторыхъ соленыхъ озеръ (384). Сравненіе нагрѣванія суши и океана (384). Образованіе льда (387). Черное море и краткое обозрѣніе физическихъ его особенностей (388). Литературныя указанія (401).

X. Тепловое состояніе нижнихъ слоевъ земной атмосферы 402

Связь между температурой земной поверхности и температурой нижнихъ слоевъ земной атмосферы (402). Тепловое воздѣйствіе земной поверхности на выше лежащіе слои атмосферы (406). Методы опредѣленія температуры воздуха въ нижнихъ слояхъ земной атмосферы (413). Самопишущіе приборы и ихъ разработка (420). Принципъ непрерывности (431). Суточныя колебанія температуры (432). Годовыя колебанія (437). Кривая годового хода и возвраты тепла и холода (442). Географическое распредѣленіе тепла въ нижнихъ слояхъ земной атмосферы (446). Термометрическій градіентъ и его опредѣленіе (456). Полюсъ холода (459). Карты изономалей (462). Карты Hildebrandsson'a (466). Литературныя указанія (470).

XI. Давленіе воздуха 471

Методы наблюденій; ртутные барометры (471). Очистка ртути (473). Наполненіе барометра (474). Введеніе поправокъ (476). Металлическіе барометры (478). Изученіе металлическихъ барометровъ (479). Гипсотермометры (484). Измѣреніе мелкихъ колебаній давленія (485).

Digitized by Google

Регистрирующіе барометры (487). Принципъ вѣсового барометра (488). Барографъ Вильда (488). Барографъ Неклѣевича (489). Разработка барограммъ (489). Мелкія колебанія барометра (489). Суточныя колебанія давленія (491). Попытки объясненія суточнаго хода (496). Распредѣленіе давленія на земной поверхности; барометрическій градіентъ (504). Законы Тейсеранъ-де-Бора (507). Годовыя колебанія давленія (510). Среднее давленіе по параллелямъ (511). Крайнія пониженія и повышенія давленія (512) Литературныя указанія (513).

XII. Образованіе гидрометеоровъ 514

Общая причина образованія осадковъ (514). Образованіе росы; первоначальная теорія Леруа и Уэльса (515). Дополненія Жамена (517). Дополненія Айткена и Ресселя (518). Распредѣленіе температуры въ нижнихъ слояхъ воздуха во время образованія росы (518). Иней (519). Количество росы и ея распредѣленіе (519). Изморозь (522). Гололедица; ледяной дождь (523). Туманы (526). Смѣшеніе двухъ массъ воздуха, насыщенныхъ парами и имѣющихъ различныя температуры (527). Адіабатическое расширеніе воздуха; восходящіе токи (530). Волнистыя облака (533). Структура эмбріональнымъ жидкихъ элементовъ тумана (539). Размѣръ эмбріональныхъ продуктовъ конденсаціи (543). Роль пыли (544). Роль отрицательныхъ и положительныхъ іоновъ (545). Дальнѣйшія стадіи образованія верхнихъ осадковъ; процессъ образованія дождя (548). Величина капель и ихъ распредѣленіе (550). Образованіе снѣга (553). Формы снѣжинокъ; снѣговые цвѣты (553). Формы градинъ (554). Химическій анализъ осадковъ (560). Облака, ихъ форма и высота (563). Облачность; нефоскопы (569). Дождемѣры и дождеграфы (572). Географическое распредѣленіе осадковъ (575). Ливни (581). Снѣговая линія; лавины и глетчеры (585). Литературныя указанія (591).

Digitized by Google

XIII. Температура и давленіе въ болѣе высокихъ слояхъ атмосферы 593

Методы изслѣдованія болѣе высокихъ слоевъ атмосферы: горныя обсерваторіи, воздушныя поднятія, змѣйковыя станціи (593). Наблюденія горныхъ станцій (597). Результаты воздушныхъ поднятій (601). Инверсія температуры въ болѣе высокихъ слояхъ атмосферы (603). Новѣйшія наблюденія на станціяхъ Lindenberg и Uccle (604). Наиболѣе низкія температуры въ высокихъ, доступныхъ наблюденію, слояхъ атмосферы (615). Аналитическое выраженіе закона паденія температуры въ функціи высоты (616). Распредѣленіе давленія въ болѣе высокихъ слояхъ атмосферы (616). Общіе выводы (622). Литературныя указанія (623).

XIV. Аномальныя отклоненія 625

Абсолютныя аномальныя отклоненія (625). Среднія аномальныя отклоненія (629). Законы компенсаціи Дове (633). Метеорологическая инерція (634). Изслѣдованія Körpen'a (636). Приведеніе къ многолѣтнимъ среднимъ (641). Литературныя указанія (642).

Всѣ температуры выражены въ градусахъ Цельзія.

Digitized by Google

Замѣченныя опечатки.

На стран. 32, уравненіе времени

14 мая должно быть $-3^{м}\ 52^{с}$ вмѣсто $3^{м}\ 52^{с}$,

3 ноября » » $-16^{м}\ 20^{с}$ » $16^{м}\ 20^{с}$.

На стран. 185, строка 21 сверху, напечатано 32% вмѣсто 3.2%
Въ двухъ-трехъ мѣстахъ книги сдѣланы ссылки на «Приложенія». Вмѣсто словъ «Приложенія» слѣдуетъ читать «Спеціальный курсъ». На стран. 245, строка 13 сверху, напечатано Newton вмѣсто Newcomb.

Считаю долгомъ выразить искреннюю благодарность моему ассистенту Игнатію Яковлевичу Точидловскому за дѣятельную помощь, оказанную мнѣ при корректированіи этой книги.

Digitized by Google

UNIV. OF CALIFORNIA

ВВЕДЕНІЕ.

Мірозданіе. Солнечная система. Земля какъ движущаяся обсерваторія. Видъ и величина земли въ первомъ приближеніи. Обстоятельства суточнаго и годового движенія земли. Счисленіе времени. Луна. Фигура земли во второмъ приближеніи. Геоидъ. Средній уровень океана и его колебанія. Напряженіе тяжести на земной поверхности. Измѣненіе напряженія тяжести съ высотою мѣста наблюденія. Тяжесть на глубинѣ. Аномаліи въ распредѣленіи тяжести. Сейсмическія движенія. Горизонтальный маятникъ. Средняя плотность земли. Предполагаемое давленіе на различныхъ глубинахъ. Общія черты лика земли. Гипотеза Грина. Гипсометрическія ступени. Океаны и ихъ протяженіе. Разчлененіе береговой линіи. Понятіе о географическихъ проекціяхъ Литературныя указанія.

Мірозданіе. Обозрѣвая невооруженнымъ глазомъ небесный сводъ въ ясную и безоблачную ночь, мы видимъ то отдѣльныя свѣтящіяся точки (планеты и неподвижныя звѣзды), то скопленіе звѣздъ (звѣздныя кучи), то неопредѣленныя, расплывающіяся, туманности. Лучъ свѣта несетъ намъ вѣсти о строеніи этихъ отдаленныхъ міровъ. Изучая небо при посредствѣ современныхъ методовъ наблюденія, мы убѣждаемся, что нѣкоторыя изъ этихъ звѣздъ сходны, по своему строенію и отчасти по своему составу, съ нашимъ солнцемъ. Нѣкоторыя туманности, и въ томъ числѣ млечный путь, состоятъ изъ скопленія безчисленнаго количества звѣздъ, удаленныхъ отъ насъ на громадныя разстоянія. Безчисленное множество такихъ туманностей разсѣяно въ міровомъ пространствѣ, и наше солнце есть *одна* изъ звѣздъ *одной* изъ подобныхъ туманностей. Другія же туманности представляютъ космическое вещество на различныхъ стадіяхъ процесса сгущенія, иногда даже съ явными зачатками ядра. Эти звѣзды, звѣздныя кучи, космическія туманности, въ необъятномъ количествѣ выполняющія міровое пространство, составляютъ ту міровую

Digitized by Google

пыль, тѣ міровые элементы, совокупность которыхъ называется *мірозданіемъ*. Солнце наше есть одна изъ пылинокъ этого мірозданія. Уму человѣческому недоступно понятіе о границахъ мірозданія. Мы его называемъ *безконечнымъ*. Вся эта безконечная система міровъ одухотворена вѣчнымъ движеніемъ: одни міры, вращаясь около другихъ, болѣе могущественныхъ, вѣчно несутся въ безпредѣльномъ пространствѣ.

Мірозданіе не представляетъ мертвой, вѣчно неизмѣняемой, системы всегда одинаково движущихся міровъ. Мы уже видѣли, что въ различныхъ уголкахъ мірозданія существуетъ космическое вещество на различныхъ ступеняхъ процесса сгущенія. Изъ этого мы вправѣ заключить, что, то тутъ то тамъ, зарождаются новые міры, которые постепенно крѣпнутъ и достигаютъ кульминаціоннаго пункта своего развитія. Всѣмъ извѣстна исторія кометы Біелы. Наблюденія показали, что комета Біелы имѣетъ эллиптическую орбиту съ періодическимъ обращеніемъ въ 6.6 года. Въ 1845 году комета эта обнаружила стремленіе къ раздвоенію и въ декабрѣ того же года дѣйствительно раздѣлилась на двѣ части. Въ 1852 году разстояніе между ними увеличилось до 2500000 километровъ. Въ 1877 году, когда ожидали возвращенія одного изъ кусковъ кометы Біелы, наблюдалось величественное явленіе звѣзднаго дождя. Вычисленія показали, что этотъ рой падающихъ звѣздъ слѣдовалъ въ пространствѣ по тому же пути, по которому слѣдовала комета Біелы. Такое же явленіе распаденія на части обнаружила комета 1882 года. Астрономы различаютъ типы неподвижныхъ звѣздъ: бѣлый, желтый, красный. Есть основаніе предполагать, что эти типы представляютъ также послѣдовательныя стадіи звѣздной жизни; звѣзды изъ состоянія бѣлаго каленія, въ которомъ теперь находится, напримѣръ, Сиріусъ, переходятъ въ состояніе желтое и, наконецъ, въ красное, предшествующее полному угасанію. По временамъ, на небосклонѣ замѣтно явленіе новыхъ временныхъ звѣздъ, вспыхивающихъ и затѣмъ потухающихъ. Нѣкоторыя изъ этихъ явленій можно разсматривать, какъ космическія катастрофы. Короче говоря, въ необозримомъ пространствѣ міровъ происходитъ процессъ космической жизни съ ея характерными стадіями: зарожденіемъ, ростомъ, возмужалостью, конвульсивными вспышками и закатомъ. Конечно, явленія космической жизни совершаются въ гигантскомъ масштабѣ. Ничтожная мі-

Digitized by Google

ровая пылинка (наше солнце), находясь отъ насъ на разстояніи 150 милліоновъ километровъ, посылаетъ намъ, въ теченіе года, такое количество тепловой энергіи, которое могло бы расплавить ледяную оболочку, окружающую землю толщиною въ нѣсколько десятковъ метровъ. И это только ничтожнѣйшая доля всей энергіи, излучаемой солнцемъ. Свѣтовая часть этой энергіи освѣщаетъ бѣлый листъ бумаги, какъ 288000 нормальныхъ свѣчей, поставленныхъ на разстояніи одного метра отъ освѣщаемой поверхности. Разстоянія, раздѣляющія отдѣльные міры, такъ велики, что ихъ нельзя уже измѣрять нашими земными единицами (милями или километрами). Свѣтъ, распространяющійся со скоростью 300000 километровъ въ 1 секунду, требуетъ, для своего прохожденія отъ одной звѣздной группы къ другой, десятки, сотни и даже тысячи лѣтъ. Время въ жизни мірозданія такъ громадно, что не только вся историческая, но и вся геологическая жизнь нашей планеты, есть не болѣе, какъ одно міровое мгновеніе. Но, тѣмъ не менѣе, эта жизнь совершается вездѣ по опредѣленнымъ законамъ; хаотичность, если она гдѣлибо замѣчается, только кажущаяся. Мало того, современная наука убѣждаетъ насъ въ единствѣ законовъ, управляющихъ жизнью всего мірозданія. Законъ сохраненія энергіи и вещества является общимъ закономъ, примѣнимымъ какъ къ жизни всего мірозданія, такъ и отдѣльныхъ мельчайшихъ его частей. Другими словами, понятіе о *единствѣ* мірозданія является краеугольнымъ камнемъ современной науки.

Въ туманной дали истекшихъ временъ теряется міровой моментъ зарожденія нашей планеты. Исходя изъ мысли о единствѣ силъ и законовъ, управляющихъ всѣмъ мірозданіемъ, мы вправѣ сказать, что наше солнце, вѣроятно, также образовалось путемъ постепеннаго сгущенія космическаго вещества около центральнаго ядра. Переходя различныя ступени процесса сгущенія, оно послѣдовательно выдѣлило рядъ планетъ и ихъ спутниковъ. Нѣкоторыя изъ нихъ успѣли уже отвердѣть, сохранивъ лишь въ нѣдрахъ своихъ запасъ первоначальной тепловой энергіи. Такимъ образомъ, наша солнечная система можетъ служить образцомъ, по которому построены, по всей вѣроятности, и другія міровыя ячейки на извѣстной ступени ихъ космической жизни. Механическая жизнь этой системы опредѣляется законами Ньютона: 1) притяженіе двухъ массъ прямо пропорціо-

Digitized by Google

нально величинѣ этихъ массъ и 2) притяженіе двухъ массъ обратно пропорціонально квадрату ихъ разстоянія и направлено по прямой линіи, ихъ соединяющей. Самое же движеніе небесныхъ тѣлъ солнечной системы совершается по тремъ законамъ Кеплера: 1) каждая планета описываетъ около солнца эллипсъ, въ одномъ изъ фокусовъ котораго находится солнце; 2) площади, описываемыя радіусами векторами, идущими отъ центра солнца къ центру планеты, пропорціональны временамъ; 3) квадраты временъ полныхъ обращеній планетъ около солнца пропорціональны кубамъ большихъ полуосей ихъ орбитъ.

Солнечная система. Солнечная система, какъ извѣстно, состоитъ изъ слѣдующихъ планетъ: 1) Меркурій, 2) Венера, 3) Земля, 4) Марсъ, 5) Юпитеръ, 6) Сатурнъ, 7) Уранъ и 8) Нептунъ. Между Марсомъ и Юпитеромъ находится цѣлое кольцо астероидъ, число которыхъ въ настоящее время достигаетъ 480. Нѣкоторыя изъ планетъ имѣютъ спутниковъ: Земля—1, Марсъ—2, Юпитеръ—7, Сатурнъ—10, Уранъ—4, Нептунъ—1. Сатурнъ окруженъ кольцами, состоящими изъ скопленія мелкихъ космическихъ телецъ. *Эксцентриситетомъ* планетнаго эллиптическаго пути называютъ дробь: $e=\frac{a-b}{a}$, гдѣ a—большая полуось, b—малая полуось эллипса. Въ слѣдующей таблицѣ приведены числа, характеризующія различныя планеты нашей солнечной системы [1]).

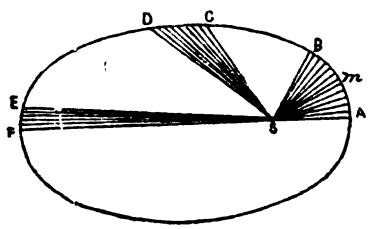
Названіе планетъ.	Время обращенія планетъ около солнца.	Разстояніе отъ солнца.	Эксцентриситетъ.	Наклоненіе орбитъ.
	дн.			
Меркурій. .	87.969258	0.3870987	0.2056048	7° 0′ 8″
Венера . .	224.700787	0.7233322	0.0068433	3°23′35″
Земля . .	1 г. 0.006374	1.0000000	0.0167711	0° 0′ 0″
Марсъ. . .	1...321.729646	1.5236913	0.0932611	1°51′ 2″
Юпитеръ. .	11...314.838171	5.202800	0.0482519	1°18′41″
Сатурнъ . .	29...166.986360	9.538856	0.0560713	2°29′40″
Уранъ. . .	84... 7.89036	19.18329	0.0463414	0°46′20″
Нептунъ . .	164...280.11316	30.05508	0.0089646	1°47′ 2″

[1]) Всѣ числа взяты изъ Annuaire publié par le bureau des longitudes pour l'an 1906. Paris.

Digitized by Google

Названіе планетъ.	Дѣйствительный діаметръ.	Объемъ.	Масса.	Плотность.	Плотность по отношенію къ плотности воды.
Меркурій. .	0.373	0.052	0.061	1.173	6.45
Венера . .	0.999	0.975	0.787	0.807	4.44
Земля. . .	1	1	1	1	5.50
Марсъ. . .	0.528	0.147	0.105	0.711	3 91
Юпитеръ. .	11.061	1279.412	309.816	0.242	1.33
Сатурнъ . .	9.299	718.883	91.919	0.128	0.70
Уранъ. . .	4.234	69.237	13.518	0.195	1.07
Нептунъ . .	3.798	54.955	16.469	0.300	1.65
Солнце . .	108.558	1283720	324439	0.253	1.39
Луна . . .	0.273	0.020	0.013	0.615	3.38

Изъ этой таблицы видно, что эксцентриситеты планетныхъ путей вообще невелики. Болѣе растянуты пути астероидъ. Орбита Венеры имѣетъ форму, близкую къ формѣ круга. Наиболѣе растянута орбита Меркурія. Плоскости орбитъ различныхъ планетъ весьма мало наклонены другъ къ другу, такъ что движеніе ихъ совершается приблизительно въ одной плоскости. Исключеніе составляютъ пути нѣкоторыхъ астероидъ. Скорость движенія планетъ въ различныхъ частяхъ орбиты неодинакова.



Фиг. 1.

Пусть *ABCDF* (фиг. 1) — есть орбита какой-нибудь планеты. Точка *F* называется *афеліемъ*, а точка *A* — *перигеліемъ*. Допустимъ, что площади *ASB* и *ESF* описаны радіусами — векторами въ равныя времена. На основаніи 2-го закона Кеплера:

$$ASB = ESF,$$

откуда очевидно

$$AB > EF,$$

т. е. скорость движенія планетъ вблизи афелія меньше, чѣмъ вблизи перигелія.

Digitized by Google

Всѣ планеты и ихъ спутники имѣютъ *прямое* движеніе, т. е. для наблюдателя, стоящаго на плоскости орбиты въ ея центрѣ, движеніе планетъ совершается по направленію противоположному движенію часовой стрѣлки. Исключеніе составляютъ спутники Урана и Нептуна.

Членами нашей солнечной системы слѣдуетъ также считать кометы и мелкія космическія тѣльца. Тѣльца эти движутся или спорадически или цѣлыми роями. Кольцо космическихъ тѣлецъ можетъ пересѣкать плоскость земного пути. Во время прохожденія земли вблизи этого узла нѣкоторыя изъ тѣлецъ вступаютъ въ нашу атмосферу съ своей космической скоростью. Здѣсь онѣ встрѣчаютъ сопротивленіе со стороны воздуха, и часть энергіи тѣльца преобразовывается въ теплоту, которая достаточна для накаливанія частицъ воздуха, лежащихъ на пути двигающагося тѣльца. Мы наблюдаемъ тогда явленіе, такъ называемыхъ, *падающихъ звѣздъ*. Особенно замѣчательны рои космическихъ тѣлецъ, вызывающіе блестящее явленіе падающихъ звѣздъ 10—13 августа (персеиды) и 11—13 ноября (леониды). Полный оборотъ кольцо леонидъ совершаетъ въ 33 года. Повидимому звѣздные рои можно разсматривать какъ дальнѣйшую ступень въ жизни кометы. Комета разрѣшается, съ теченіемъ времени, въ рой космическихъ тѣлецъ, стремящихся съ теченіемъ времени равномѣрно распредѣлиться по протяженію кольца.

Закончимъ общее обозрѣніе солнечной системы краткимъ изложеніемъ вопроса о физическомъ строеніи центральнаго тѣла нашей солнечной системы.

Если наблюдать солнечную поверхность при помощи очень сильныхъ инструментовъ, то оказывается, что яркость его неравномѣрна и на темномъ фонѣ имѣются свѣтлыя образованія въ родѣ зеренъ (грануляція). Значительно большее протяженіе имѣютъ болѣе яркіе *факелы*. Поверхность факеловъ и особенно грануляцій даетъ преобладающую часть солнечнаго свѣта и называется *фотосферой*. Кромѣ грануляцій и факеловъ, на поверхности солнца видны еще пятна, состоящія изъ темнаго ядра, окруженнаго, обыкновенно, ясно ограниченною полутѣнью. Пятна, измѣняя свой видъ, передвигаются отъ восточнаго края диска къ западному; на основаніи этихъ перемѣщеній, можно заключить, что вся масса солнца вращается около оси и совершаетъ полный оборотъ въ теченіе 25 дней 4 часовъ и 29 ми-

Digitized by Google

нутъ [1]). Солнечная поверхность является ареной непрерывной напряженной дѣятельности, особенно въ нѣкоторыхъ ея зонахъ. Пятна обнаруживаются преимущественно въ двухъ поясахъ, заключенныхъ между 10° и 35° геліоцентрической сѣверной и южной широты. Во время солнечныхъ затменій видны блестящіе придатки, выступы или протуберанцы, окаймляющіе контуры солнечнаго диска. Эти выступы представляютъ какъ бы временныя поднятія особой атмосферы, тонкимъ слоемъ окружающей солнце (хромосфера). Еще далѣе слѣдуетъ болѣе обширная оболочка—корона. Дѣятельность солнечной поверхности имѣетъ замѣтный періодическій характеръ: число и величина пятенъ, а также число и интенсивность факеловъ и протуберанцевъ измѣняются, поднимаясь черезъ каждые 11.1 года до максимума и опускаясь, затѣмъ, до минимума. Эти колебанія находятся въ прямомъ отношеніи съ магнито-электрической жизнью нашей планеты. Послѣдній максимумъ былъ въ 1894 году, послѣдній минимумъ въ 1901. Въ 1905 году дѣятельность солнца была очень значительна, приближаясь къ максимуму.

Анализъ солнечнаго луча при помощи спектроскопа даетъ весьма важныя указанія относительно физическаго строенія и химическаго состава различныхъ его оболочекъ. Свѣтъ солнечнаго диска даетъ непрерывный спектръ, пересѣченный темными фраунгоферовыми линіями. Эти линіи, точно совпадающія съ блестящими линіями раскаленныхъ газовъ и металлическихъ паровъ, указываютъ на существованіе на поверхности солнца многихъ земныхъ химическихъ веществъ. Первое мѣсто принадлежитъ желѣзу, многочисленныя линіи котораго составляютъ, такъ сказать, остовъ солнечнаго спектра. Затѣмъ идутъ водородъ (линіи C, F, G', h), натрій (D), кальцій (H, K), гелій (D_3), магній (b), никкель, титанъ и пр. Спектральныя изслѣдованія даютъ намъ основаніе разсматривать солнце, какъ ра-

---

[1]) Въ дѣйствительности, движеніе солнечной поверхности, выведенное изъ наблюденій надъ пятнами, неодинаково для всѣхъ широтъ: скорость вращенія уменьшается отъ экватора къ полюсамъ. Если время обращенія на экваторѣ принять въ 25 дней, то оно равно:

25.75 днямъ подъ 20° широты
26.50 » » 30° »
27.00 » » 40° »

Digitized by Google

скаленную массу, испускающую свѣтъ, дающій непрерывный спектръ; надъ этой массой находится оболочка раскаленныхъ газовъ и паровъ, въ составъ которой входятъ выше указанные элементы (хромосфера). Этотъ поглощающій слой невиднмъ вслѣдствіе его малой мощности. Но во время затмѣній спектръ хромосферическихъ протуберанцевъ дѣйствительно даетъ блестящія линіи этихъ элементовъ. Впрочемъ, въ недавнее время Janssen и Lockyer предложили методъ, который даетъ возможность наблюдать во всякое время присутствіе хромосферы и даже форму протуберанцевъ. Методъ этотъ обнаружилъ, что водородные протуберанцы поднимаются обыкновенно надъ факелами, а металлическіе пары (натрій, кальцій, магній) въ сосѣдствѣ пятенъ.

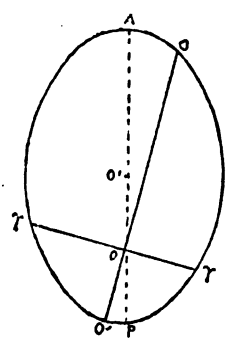
Земля какъ движущаяся обсерваторія. Земля, согласно 1-му закону Кеплера, описываетъ въ теченіе года эллипсъ, въ одномъ изъ фокусовъ котораго находится солнце. Около 1-го января, она находится въ ближайшемъ (*A*), а около 30-го іюня въ дальнѣйшемъ (*B*) разстояніи отъ солнца. Эти разстоянія даны въ слѣдующей табличкѣ:

A . .	23047.2	экватор. радіуса земли	или	147001	милл.	кило.
B . .	23831.5	»	»	»	»	152003	»	»
Среднее	23439.2	»	»	»	»	149501	»	»

Эксцентриситетъ . . . 0.0167711.

Вслѣдствіе измѣненія разстоянія земли отъ солнца въ теченіе годового оборота, *видимый* діаметръ солнца имѣетъ различныя значенія:

Максимумъ (около 1 января) . . 32′ 36″.36.
Минимумъ (около 30 іюня) . . . 31 31. 98.
Средній . . . 32 3. 64.



Фиг. 2.

Средняя скорость движенія земли по орбитѣ равна 29.7 километра въ секунду.

Пусть (фиг. 2) *AOPO'*—земная орбита, *AP*—большая ея ось, *γ* и *γ'*—точки, которыя земля проходитъ въ дни весенняго и осенняго равноденствій, *O* и *O'*—линія солнцестояній. Линія солнцестояній составляетъ, въ настоящее время, съ большой осью эллипса уголъ 11°8′. Въ 1906 году земля проходила эти точки своего пути

Digitized by Google

въ слѣдующіе дни, считая отъ полуночи средняго Парижскаго времени:

Весеннее равноденствіе . .	21 марта	въ	13^h	2^m 12^s
Лѣтнее солнцестояніе . . .	22 іюня	»	8	51 6
Осеннее равноденствіе . . .	23 сентября	»	23	24 15
Зимнее солнцестояніе . . .	22 декабря	»	18	2 31

Изъ приведенной таблички видно, что земля употребляетъ слѣдующее время для послѣдовательнаго прохожденія между указанными главными пунктами своего пути:

		дн.	ч.
Отъ весенняго равноденствія	до лѣтняго солнцестоянія .	92	20
» лѣтняго солнцестоянія	» осенняго равноденствія	93	15
» осенняго равноденствія	» зимняго солнцестоянія .	89	19
» зимняго солнцестоянія	» весенняго равноденствія	89	0

Такимъ образомъ, продолжительность весны и лѣта равна 186 дней 11 часовъ, а продолжительность осени и зимы 178 дней 19 часовъ, т. е. солнце остается въ сѣверномъ полушаріи 8-ью днями дольше, чѣмъ въ южномъ.

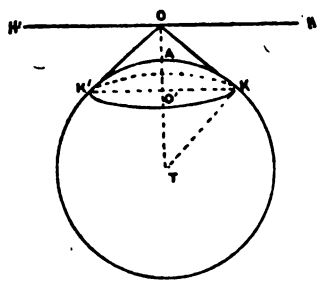
Уголъ, подъ которымъ виденъ съ солнца радіусъ земли, если лучъ зрѣнія перпендикуляренъ къ этому радіусу, называется *параллаксомъ* солнца. Средняя его величина составляетъ 8″.80.

Ось земли наклонена къ оси орбиты подъ угломъ приблизительно $23^0 27'$ [1]). Но эта ось не сохраняетъ своего неизмѣннаго положенія въ пространствѣ. Она описываетъ коническую поверхность, отверстіе которой равно $23^0 27'$. Ось земли совершаетъ полный оборотъ приблизительно въ 26000 лѣтъ. Это явленіе называется *прецессіей* или *предвареніемъ равноденствія*. Вслѣдствіе прецессіи точка весенняго равноденствія перемѣщается на 50.2″ въ годъ. Кромѣ того, ось земли описываетъ, въ теченіе $18^2/_3$ года, малый эллипсъ, около средняго положенія; амплитуда колебаній по направленію движенія равна 18″4, а по направленію перпендикулярному 13″.7. Измѣняются также періодически эксцентриситетъ и долгота перигея, считая отъ точки весенняго равноденствія. Въ настоящее время эксцентриситетъ уменьшается на 0.00004 въ столѣтіе, а долгота перигея, отнесенная къ точкѣ весенняго равноденствія, ежегодно увеличается на 11.7″.

[1]) Точнѣе: наклоненіе оси земли къ оси орбиты 31 декабря 1905 г. равнялось $23^0 26' 57''.24$.

Digitized by Google

Видъ и величина земли въ первомъ приближеніи. Подъ видомъ земли, независимо отъ мѣстныхъ неровностей, понимаютъ поверхность океаническихъ водъ, а также продолженіе ея въ широкихъ каналахъ, мысленно изрѣзывающихъ материки и соединяющихъ между собою отдѣльные океаны. Эта поверхность есть поверхность одинаковаго уровня, т. е., равнодѣйствующая всѣхъ дѣйствующихъ силъ нормальна къ этой поверхности. Въ *первомъ приближеніи*, принимаютъ, что поверхность земли имѣетъ форму шара, а слѣдовательно, всѣ отвѣсныя линіи направлены къ центру земли. Если (фиг. 3) мы подымемся на высоту $OA=h$ надъ земной поверхностью и изъ точки O проведемъ рядъ касательныхъ къ земному шару, то получимъ конусъ, основаніе котораго ограничитъ видимый изъ точки O горизонтъ. $\angle HOK=\alpha$ называется *депрессіей* горизонта. Этотъ уголъ можно опредѣлить изъ треугольника KOT:



Фиг. 3.

$$TK=OT\,Cos\,OTK$$

но $TK=R$ (радіусъ земли), а $OT=R+h$, гдѣ h есть высота точки O надъ поверхностью земли; слѣдовательно,

$$R=(R+h)\,Cos\alpha \text{ или } Cos\alpha=\frac{R}{R+h} \qquad (1)$$

Для $h=100$ метрамъ, $\alpha=19'16''$, откуда

$$R=6366 \text{ километра.}$$

Изъ уравненія (1) можно вычислить уголъ депрессіи α, если извѣстно h. Напримѣръ, если $h=5$ метрамъ, то $\alpha=4'18''$; при $h=300$ метрамъ $\alpha=33'23''$. Можно, наконецъ, опредѣлить радіусъ $O'K=r$ круга видимаго горизонта:

$$r=R\,Sin\alpha$$

Если

$h=$ 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 метр.

то

$r=$11.3 16.0 19.6 22.6 25.3 27.7 29.9 31.9 33.8 35.7 килом.

Если принять, что длина меридіана равна 40000 километровъ, то радіусъ земли равенъ

$$R=\frac{40000}{2\pi}=6366.197 \text{ километра}$$

Digitized by Google

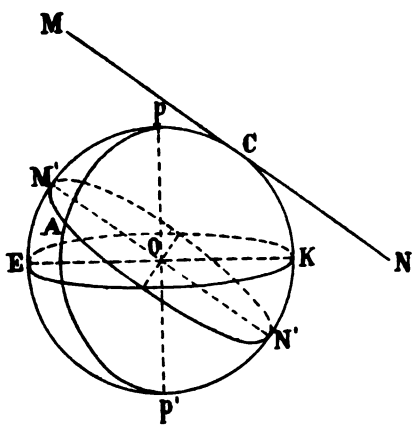
Длина градуса меридіана равна $\frac{40000}{360}$ = 111.111 километра. Длина одной минуты 1851.85 метра (морская миля); длина секунды — 30.86 метра; половина этой длины (узелъ) — 15.43 метра. Нетрудно вычислить также окружность (s) и радіусъ (r) какой-нибудь параллели, лежащей подъ широтою φ:

$$r = R\cos\varphi$$
$$s = 2\pi R\cos\varphi$$

Вообще, длина градусовъ различныхъ параллелей выразится слѣдующими числами:

Широта	0°	10	20	30	40	50	60	70	80
Килом.	111.3	109.6	104.6	96.5	85.4	71.7	55.7	38.2	19.4
Миль	15.0	14.8	14.1	13.0	11.5	9.1	7.5	5.1	2.6

Градусъ экватора дѣлятъ на 15 равныхъ частей и каждую часть называютъ *географическою* милью. Длина географической мили равна 7407 41 метра [1]).



Фиг. 4.

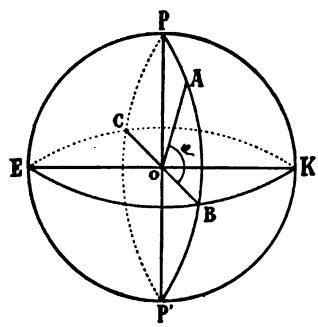
Пусть (фиг. 4) PP'—ось земли, EK—экваторъ, PCP'—меридіанъ точки C. Плоскость MN, касательная къ земной поверхности въ точкѣ C, называется *видимымъ* горизонтомъ точки C, а плоскость $M'N'$, проведенная черезъ центръ земли параллельно видимому горизонту, составляетъ *математическій* или *истинный горизонтъ* той-же точки C. Линія, перпендикулярная къ горизонту и составляющая, въ данномъ

[1]) Чтобы измѣрить скорость движенія корабля употребляютъ линь, на которомъ сдѣланы мѣтки на разстояніи 15.43 метра. На концѣ линя укрѣпляютъ треугольникъ, нагруженный у основанія свинцомъ. Треугольникъ этотъ держится на поверхности воды вертикально; при движеніи корабля, онъ остается на мѣстѣ, и только разматываетъ линь. Считаютъ число узловъ вышедшихъ въ $^1/_2$ минуты. Очевидно, что число узловъ, вышедшихъ въ $^1/_2$ минуты, равно числу миль, проходимыхъ кораблемъ въ часъ.

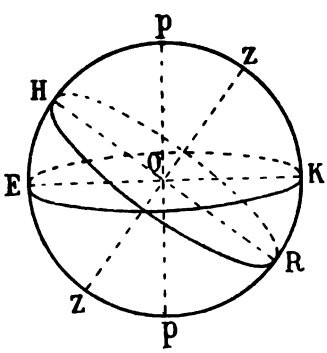
Digitized by Google

случаѣ, продолженіе радіуса—есть *отвѣсная* или *вертикальная* линія. Положеніе горизонтальной плоскости опредѣляется *уровнемъ* съ *воздушнымъ пузырькомъ*, а положеніе вертикальной линіи—*отвѣсомъ*. Отвѣсная линія даннаго мѣста находится, очевидно, въ плоскости меридіана этого мѣста. Въ какой-нибудь точкѣ земной поверхности, лежащей на экваторѣ, горизонтъ параллеленъ, а на полюсѣ перпендикуляренъ къ земной оси; въ промежуточныхъ же точкахъ, лежащихъ между экваторомъ и полюсомъ, горизонтъ составляетъ нѣкоторый уголъ съ осью земли.

Положеніе какой-нибудь точки на земной поверхности опредѣляется *широтой* и *долготой*. *Широтой* точки A (фиг. 5) называютъ уголъ, заключенный между радіусомъ или отвѣсной линіей AO, проведенной въ данную точку A и плоскостью экватора EK, т. е. уголъ BOA=дугѣ $BA=\varphi$. Широта считается отъ экватора къ сѣверу (сѣверная) и къ югу (южная) отъ 0^0 до 90^0. *Долготою* точки считаютъ двугранный, уголъ составленный меридіаномъ $PABP'$ даннаго мѣста и меридіаномъ $PKP'E$, принятымъ за первый, т. е. двугранный уголъ $APP'K$=угл. BOK=дуг. $KB=\lambda$. Нетрудно опредѣлить (фиг. 6) уголъ POH, составленный осью земли PP' и горизонтомъ HR даннаго мѣста, широта котораго равна $ZOK=\varphi$. Проведемъ отвѣсную линію ZZ'. Изъ чертежа видно, что



Фиг. 5.



Фиг. 6.

$$POH=ZOK=\varphi,$$

т. е. уголъ, составленный горизонтомъ и осью земли, равенъ широтѣ мѣста.

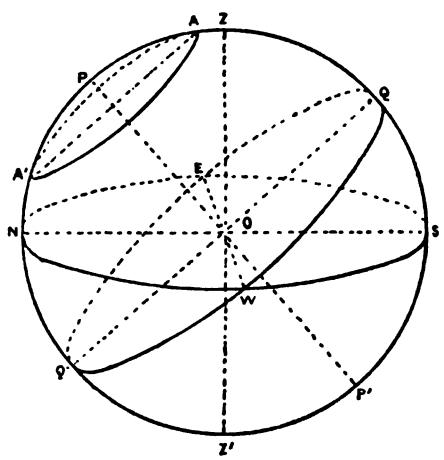
Обстоятельства суточнаго и годового движенія земли. Наблюдатель, находящійся въ одной изъ точекъ земной поверхности, совершаетъ, вмѣстѣ съ землею, два главныхъ движенія: около оси (суточное) и около солнца (годовое). Сообразно съ этимъ измѣняется и видъ небеснаго свода. Движеніе около оси

Digitized by Google

происходитъ равномѣрно, съ запада на востокъ, въ теченіе опредѣленнаго промежутка времени, который называется *звѣздными сутками*. Вслѣдствіе вращенія земли около оси различныя точки земли движутся съ различными скоростями:

Широта.	Скорость.
0^0 . . .	465 метровъ въ секунду
10 . . .	458 » » »
20 . . .	437 » » »
30 . . .	403 » » »
40 . . .	357 » » »
50 . . .	300 » » »
60 . . .	234 » » »
70 . . .	160 » » »
80 . . .	81 » » »
90 . . .	0 » » »

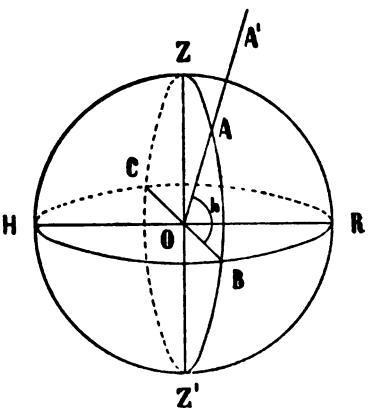
Чтобы упростить изслѣдованіе обстоятельствъ *суточнаго* движенія, можно допустить, что земля неподвижна, а весь небесный сводъ, со всѣми находящимися на немъ свѣтилами, вращается около продолженной оси земли, съ востока на западъ, и совершаетъ полный оборотъ въ теченіе звѣздныхъ сутокъ. Такъ какъ размѣры земли ничтожны въ сравненіи съ разстояніями отъ насъ небесныхъ свѣтилъ, то, при изученіи обстоятельствъ суточнаго движенія свода, можно также допустить, что наблюдатель находится въ центрѣ земли. Пусть (фиг. 7) PP' ось міра, QQ' — экваторъ, NS — горизонтъ мѣста наблюденія, ZZ' — отвѣсная линія. При вращеніи свода съ востока на западъ около оси PP' — каждая точка свода будетъ описывать кругъ, плоскость котораго перпендикулярна къ оси міра. Чѣмъ дальше отстоитъ точка свода отъ экватора, тѣмъ меньше будетъ видимый радіусъ суточнаго ея движенія. Кругъ



Фиг. 7.

Digitized by Google

ZAZ', проходящій (фиг. 8) черезъ отвѣсную линію и данное свѣтило A, называется *вертикальнымъ* или кругомъ *высотъ*. Плоскость этого круга очевидно перпендикулярна къ плоскости горизонта. Вертикальный кругъ, проходящій черезъ полюсъ, есть *меридіанъ* даннаго мѣста. Плоскость меридіана пересѣкаетъ плоскость горизонта по линіи HR, которая называется *полуденной* линіей; эта линія опредѣляетъ точки H и R. Точка H, которая находится въ той же части неба, гдѣ лежитъ полюсъ P, есть точка сѣвера; противоположная ей — точка юга. Часть круга высотъ $AB=h$, заключенная между свѣтиломъ и горизонтомъ, называется *высотою* свѣтила. Высоты считаются отъ горизонта вверхъ (положительныя) и внизъ (отрицательныя) отъ 0^0 до 90^0. Если свѣтило находится на горизонтѣ, высота его равна 0^0; по мѣрѣ поднятія свѣтила надъ горизонтомъ, высота его увеличивается; если свѣтило находится въ зенитѣ, то высота его равна 90^0. Дуга $AZ=Z$ называется *зенитнымъ* разстояніемъ свѣтила; очевидно, что $Z=90-h$. Двугранный уголъ $RZZ'A$=углу ROB и заключенный между плоскостью меридіана и вертикальной плоскостью круга высотъ или, что все равно, дуга BR заключенная между меридіаномъ и точкой пересѣченія круга горизонта съ кругомъ высотъ, называется азимутомъ свѣтила. Условимся всегда отсчитывать азимуты отъ точки юга къ западу. Высотою и азимутомъ вполнѣ опредѣляется положеніе свѣтила на сводѣ для наблюдателя, находящагося въ какой-нибудь точкѣ земной поверхности

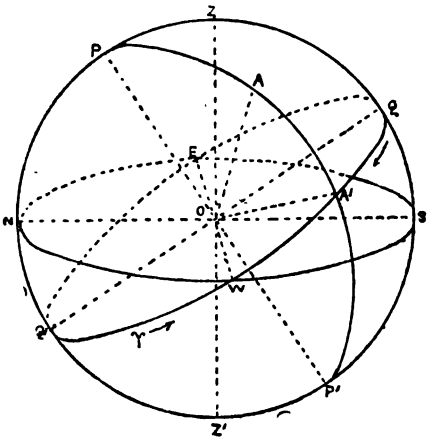


Фиг. 8.

Существуетъ и другая система координатъ. Пусть (фиг. 9) QQ' — экваторъ, PP' — ось міра, $PQP'Q'$ — меридіанъ. Черезъ оба полюса и свѣтило A проведемъ плоскость, которая, въ пересѣченіи съ небеснымъ сводомъ, даетъ кругъ PAP'. Кругъ этотъ называется часовымъ кругомъ или кругомъ *склоненій*, а часть его AA', заключенная между свѣтиломъ и экваторомъ, называется *склоненіемъ* свѣтила. Склоненіе считаютъ отъ экватора къ сѣ-

Digitized by Google

веру (сѣверное) или къ югу (южное) отъ 0^0 до 90^0. Дуга $PA=p$ составляетъ полярное разстояніе свѣтила; очевидно, что $p=90-\delta$. Двугранный уголъ $APP'Q=\angle QOA'=$дугѣ QA' называется *часовымъ угломъ* свѣтила. Условимся считать часовые углы отъ точки экватора Q, по часовой стрѣлкѣ, т. е. въ обратномъ смыслѣ. Такъ какъ точка A, при равномѣрномъ суточномъ оборотѣ свода, описываетъ, въ равныя времена, равныя дуги, то часовой уголъ звѣзды измѣняется пропорціонально времени. Очевидно, слѣдовательно, что часовой уголъ можно измѣрять въ градусахъ дуги или въ единицахъ времени. Выберемъ на экваторѣ (фиг. 9) постоянную точку γ, точку весенняго равноденствія. За начало звѣздныхъ сутокъ будемъ считать тотъ моментъ, въ который точка γ проходитъ черезъ меридіанъ. Часовой уголъ этой точки можетъ служить для измѣренія времени. Если при суточномъ движеніи свода точка γ отодвинется къ западу на 1^0, то для этого потребуется $\frac{1}{360}$ сутокъ (звѣздный часъ); если перемѣщеніе равно Θ^0, то оно будетъ соотвѣтствовать $\frac{\Theta}{360}$ части звѣздныхъ сутокъ. Эта дробь $\frac{\Theta}{360}$ называется *звѣзднымъ* временемъ. Звѣздный часъ дѣлится на 60 минутъ, минута на 60 секундъ. Положимъ, что въ данный моментъ часовой уголъ$=306^0 37' 49''.80$, слѣдовательно звѣздное время равно $\frac{1103869.80\ (\text{число секундъ въ углѣ})}{1296000\ (\text{число секундъ въ } 360^0)}=$ $=20^h\ 26^m\ 31^s,22$. Вычисленіе это можно упростить, если будемъ помнить, что



Фиг. 9.

15^0	дуги	соотвѣтствуютъ	1 часу времени
$15'$	»	»	1 минутѣ »
$15''$	»	»	1 секундѣ »

Digitized by Google

Но часовой уголъ связанъ съ положеніемъ меридіана мѣста. Для того, чтобы опредѣлить абсолютное положеніе свѣтила на сводѣ независимо отъ мѣста наблюденія, вводятъ вмѣсто часового угла новую координату—*прямое восхожденіе*. Прямымъ восхожденіемъ (фиг. 9) называютъ дугу экватора, заключенную между опредѣленной точкой экватора (точкой весенняго равноденствія) и точкой пересѣченія экватора съ кругомъ склоненій. Прямое восхожденіе считаютъ отъ точки весенняго равноденствія въ *прямомъ* смыслѣ, т. е. противъ часовой стрѣлки. Основныя координаты эти (склоненіе и прямое восхожденіе) различныхъ свѣтилъ можно найти въ спеціальныхъ астрономическихъ календаряхъ. Изъ чертежа 9 видно, что

$$\gamma Q = \gamma A' + A'Q \text{ или}$$
$$\Theta = \alpha + H, \text{ т. е.}$$

звѣздное время равно прямому восхожденію, сложенному съ часовымъ угломъ (всѣ три величины выражены во времени). Если звѣзда находится въ верхней кульминаціи, то ея часовой уголъ $H=O$ и тогда

$$\Theta = \alpha, \text{ т. е.}$$

прямое восхожденіе звѣзды равно звѣздному времени.

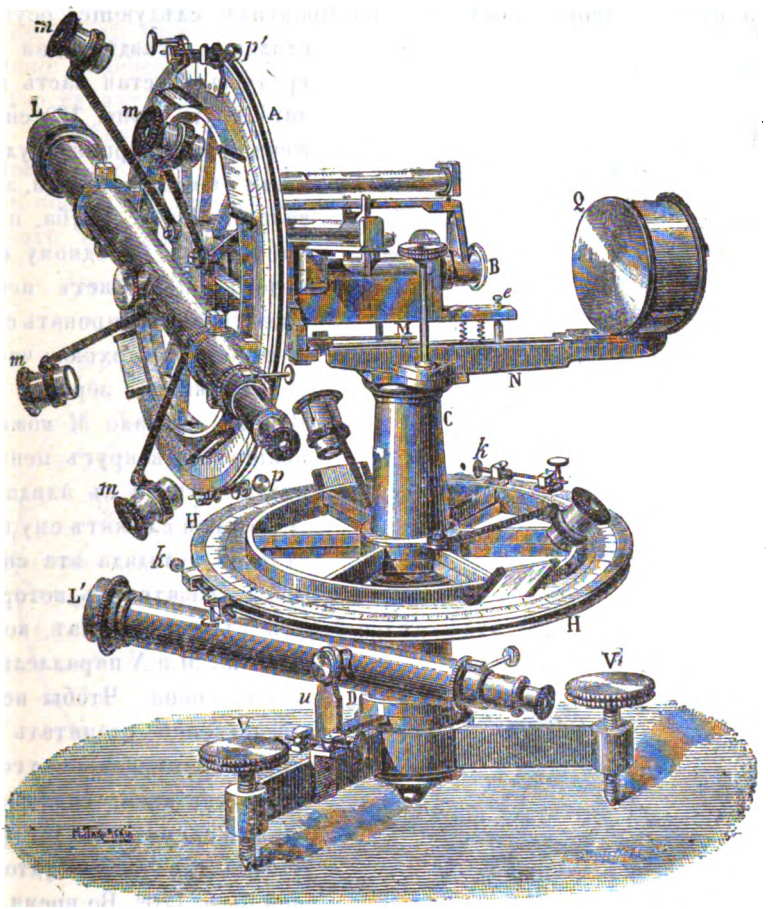
Описаніе и изученіе инструментовъ, служащихъ для измѣренія угловъ, составляетъ одну изъ существенныхъ задачъ практической астрономіи и геодезіи. Мы только вскользь укажемъ на два прибора: теодолитъ и секстантъ.

Теодолитъ состоитъ изъ двухъ круговъ, HH и AA (фиг. 10), плоскости которыхъ взаимно перпендикулярны. Если кругъ HH, при помощи подъемныхъ винтовъ VVV и уровня, привести въ горизонтальное положеніе, то плоскость круга AA принимаетъ вертикальное положеніе. По дѣленіямъ нижняго круга HH отсчитываются углы, лежащіе въ горизонтальной плоскости; второй кругъ AA служитъ для измѣренія вертикальныхъ угловъ.

Переноснымъ приборомъ для измѣренія угловъ можетъ служить *секстантъ* (фиг. 11). Два зеркала AB и CD укрѣплены перпендикулярно къ плоскости подвижного сектора. Одно изъ нихъ CD неподвижно и покрыто ртутью только въ своей верхней части; такимъ образомъ глазъ наблюдателя, пользуясь трубой, находящейся въ O, можетъ визировать небесное свѣтило S черезъ прозрачную часть зеркала. Зеркало AB, помѣщающееся

Digitized by Google

на подвижной алидадѣ, получая лучи отъ названнаго небеснаго свѣтила, отражаетъ ихъ на зеркало *CD*. Такимъ образомъ, если зеркала *AB* и *CD* вполнѣ параллельны, то непосредственное изображеніе свѣтила и его отраженіе вполнѣ совпадаютъ. Предположимъ далѣе, что намъ нужно измѣрить уголъ, составленный



Фиг. 10.

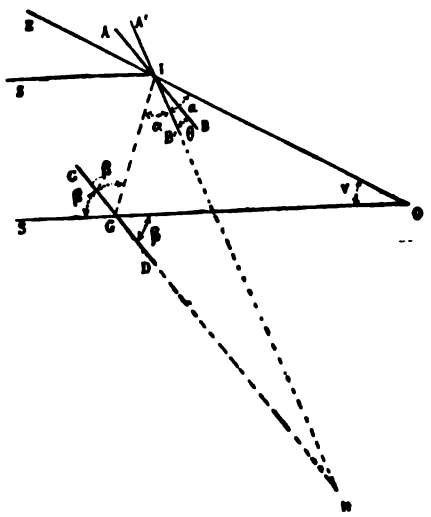
линіей *OS* и прямой *OE*, направленной на другую звѣзду *E*. Для этого поворачиваемъ подвижное зеркало *AB* до тѣхъ поръ, пока отраженное изображеніе звѣзды *E* не покроетъ прямое изображеніе звѣзды *S*. Положимъ, что для этого пришлось повер-

Digitized by Google

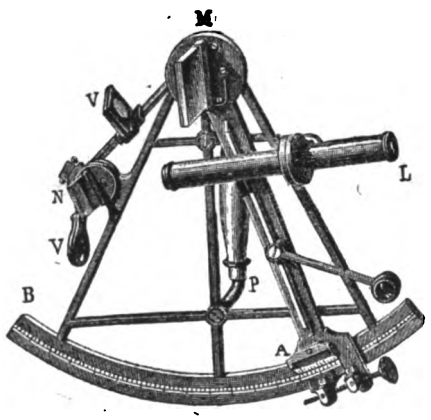
нуть зеркало на уголъ Θ. Легко доказать, что уголъ $EOS = V = 2\theta$. И дѣйствительно:

$$\beta = \alpha + \theta$$
$$SGJ = 2\beta = V + 2\alpha$$
откуда: $$V = 2\theta$$

Эта простая теорія получаетъ на практикѣ слѣдующее осуществленіе. Раздѣленная на градусы, шестая часть цѣлаго круга (фиг. 12) снабжена двумя, перпендикулярными къ его плоскости, зеркалами *M* и *N*. Труба, прикрѣпленная къ одному изъ краевъ, позволяетъ непосредственно визировать свѣтило черезъ верхнюю часть неподвижнаго зеркала *N*. Второе зеркало *M* можетъ вращаться вокругъ центра круга вмѣстѣ съ алидадой *A*, которая служитъ ему подставкой. Алидада эта снабжена указателемъ, который устанавливается на нулѣ дѣленій дуги въ томъ случаѣ, когда зеркала *M* и *N* параллельны между собой. Чтобы непосредственно отсчитать на кругѣ измѣряемый уголъ, дуга секстанта, заключающая на самомъ дѣлѣ 60°, раздѣлена такъ, какъ будто на ней было 120°. Во время наблюденія, инструментъ удерживается посредствомъ особой рукоятки. Изъ изложенной выше теоріи непосредственно вытекаетъ практическое примѣненіе прибора.



Фиг. 11.

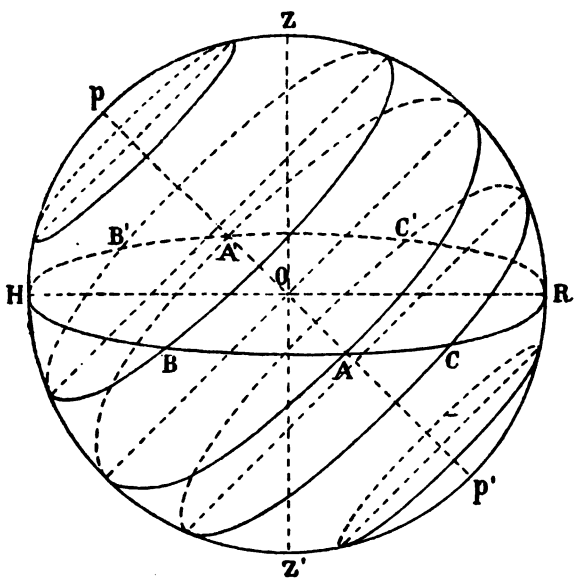


Фиг. 12.

Digitized by Google

Укажемъ только, какъ пользуются этимъ приборомъ моряки при опредѣленіи меридіональной высоты свѣтила. Наблюдатель, держа рукоятку прибора, приводитъ плоскость круга въ вертикальную плоскость свѣтила и направляетъ трубу касательно къ поверхности моря; затѣмъ перемѣщаетъ алидаду, вращая ее вокругъ центра круга до тѣхъ поръ, пока изображеніе свѣтила не появится, послѣ двойного отраженія, на оптической оси трубы. Положеніе индекса и дастъ искомую высоту свѣтила. Остается только сдѣлать небольшую поправку отъ депрессіи горизонта.

Возобновивъ въ памяти нашей основныя понятія о географическихъ и астрономическихъ координатахъ, разсмотримъ теперь обстоятельства видимаго суточнаго движенія свода, наблюдаемаго, напримѣръ, въ Одессѣ Суточное вращеніе свода происходитъ съ востока на западъ. Горизонтъ *HR* (фиг. 13) раздѣляетъ небесный сводъ на двѣ части: видимую и невидимую. Всѣ точки свода описываютъ пути, плоскости которыхъ перпендикулярны къ оси міра, и, слѣдовательно, параллельны экватору. Каждая точка свода дважды проходитъ черезъ меридіанъ (верхняя и нижняя кульминаціи). Точка свода, лежащая на экваторѣ, восходитъ въ точкѣ востока *A'*. Затѣмъ высота ея надъ горизонтомъ постепенно увеличивается; въ моментъ кульминаціи, она достигаетъ максимума, а затѣмъ постепенно уменьшается до нуля. Остальной путь эта точка проходитъ подъ горизонтомъ. Такъ какъ экваторъ дѣлится кругомъ горизонта на двѣ равныя части, то дневная часть пути взятой



Фиг. 13.

Digitized by Google

нами точки равна ночной. Какая-нибудь точка, лежащая къ сѣверу отъ экватора, восходитъ въ точкѣ B', между сѣвером и востокомъ, постепенно подымается надъ горизонтомъ, достигаетъ наибольшей высоты въ моментъ верхней кульминаціи и затѣмъ заходитъ въ точкѣ B. Дневная дуга ея больше ночной. Очевидно, что меридіанъ дѣлитъ пополамъ путь между двумя равными высотами звѣзды надъ горизонтомъ. Изъ чертежа 13-го видно далѣе, что можно найти такія точки свода, которыя весь свой путь будутъ описывать надъ горизонтомъ. Это будутъ тѣ точки свода, для которыхъ полярное разстояніе меньше высоты полюса, или, что все равно, меньше широты мѣста; въ Одессѣ, незаходящими звѣздами будутъ звѣзды, коихъ полярное разстояніе равно или меньше $46^{\circ}28'$. Для этихъ звѣздъ склоненіе равно или больше $43^{\circ}32'$. Если звѣзда находится къ югу отъ экватора, то вообще она восходитъ между югомъ и востокомъ, достигаетъ наибольшей высоты въ моментъ верхней кульминаціи и заходитъ между югомъ и западомъ. Дневной путь очевидно меньше ночного. Существуютъ, наконецъ, точки свода, которыя у насъ вовсе не восходятъ. Эти точки расположены на сводѣ такъ, что разстоянія ихъ отъ южнаго полюса меньше широты мѣста.

Обратимъ вниманіе на два частныхъ случая. Если мѣсто наблюденія находится на экваторѣ, то всѣ точки свода описываютъ пути, плоскости которыхъ перпендикулярны къ горизонту. Для всѣхъ этихъ точекъ дневной путь равенъ ночному. Если же мѣсто наблюденія находится на сѣверномъ полюсѣ, то всѣ точки сѣверной половины свода описываютъ пути, параллельные горизонту.

Нетрудно вычислить наибольшую высоту звѣзды въ моментъ верхней кульминаціи. Пусть широта мѣста равна φ, а склоненіе звѣзды равно δ. Изъ чертежа 13-го видно, что наибольшая высота H въ моментъ кульминаціи равна вообще:

$$H=\delta+90^{\circ}-\varphi;$$

такъ, напр., въ Одессѣ ($\varphi=46^{\circ}28'$) высота во время верхней кульминаціи равна для различныхъ величинъ склоненія:

$\delta=$	0°	20°	40°	-20°
$H=$	$43^{\circ}32'$	$63^{\circ}32'$	$83^{\circ}32'$	$23^{\circ}32'$

Digitized by Google

Легко также, зная широту мѣста $\omega OD=\varphi$ и полярное разстояніе звѣзды $POA=P$, вычислить азимутъ $SOC=A$ и часовой уголъ $A\omega C=H$ точки C, высота коей равна нулю. Принимая радіусъ сферы за единицу, имѣемъ (фиг. 14):

$$O\omega=CosP;\ \omega C=\omega A=SinP.$$

Изъ прямоугольнаго треугольника ωOD:

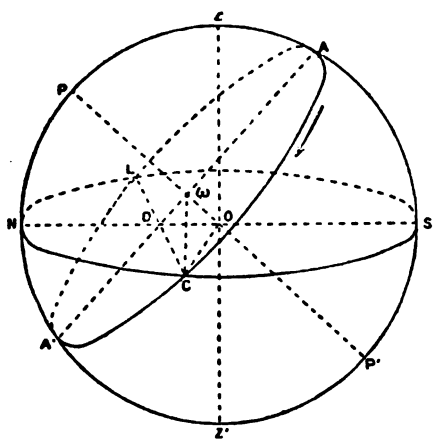
$$\omega D=O\omega tang\varphi;\ OD=\frac{O\omega}{Cos\varphi}$$

или $$\omega D=CosPtang\varphi;\ OD=\frac{CosP}{Cos\varphi},$$

но $$CosSOC=CosA=-OD=-\frac{CosP}{Cos\varphi}$$

$$CosA\omega C=CosH=\frac{\omega D}{\omega C}=-\frac{CosPtang\varphi}{SinP}=-\frac{tang\varphi}{tangP}.$$

Азимутъ A опредѣлитъ точку горизонта, въ которой звѣзда заходитъ. Эта величина будетъ равна, больше или меньше 90°, смотря потому, будетъ ли P равно, меньше или больше 90°. Часовой уголъ H выражаетъ время между кульминаціей и заходомъ звѣзды. Положимъ, что широта мѣста равна φ, склоненіе солнца δ, а продолжительность дня T; на основаніи предыдущаго:



Фиг. 14.

$$Cos\frac{T}{2}=-tg\varphi tg\delta.$$

Азимутъ точки захода получится изъ уравненія

$$CosA=-\frac{Sin\delta}{Cos\varphi}.$$

Азимутъ точки восхода равенъ

$$360^0-A$$

Истинные часы восхода и захода солнца будутъ $24^h-\frac{T}{2}$ и $\frac{T}{2}$ въ астрономическомъ времени.

Digitized by Google

Нетрудно вычислить максимумъ J продолжительности дня. Достаточно подставить въ предыдущее уравненіе вмѣсто δ наибольшее склоненіе солнца D:

$$Cos\frac{J}{2}=-tg\varphi tgD.$$

Если E есть уравненіе времени (см. стр. 32) для даннаго дня, то среднее время восхода и заката:

$$12^{ч}-\frac{J}{2}+E \text{ и } \frac{J}{2}+E.$$

Если $\varphi=+48^{0}50'$, $\delta=-7^{0}34'$, $E=+12^{м}\ 32^{с}$, то предыдущіе формулы даютъ:

$$T=10^{ч}\ 50^{м},$$
восходъ въ $6^{ч}\ 48^{м}$ утра,
заходъ » $5^{ч}\ 38^{м}$ вечера,
$$J=15^{ч}\ 58^{м}.$$

Конечно, по этимъ формуламъ получаются только приблизительныя величины, такъ какъ при выводѣ ихъ непринята во вниманіе рефракція и многія другія обстоятельства суточнаго и годового движенія. Чтобы видѣть, на сколько всѣ эти обстоятельства измѣнятъ полученныя числа, замѣтимъ, что точныя значенія въ предыдущемъ примѣрѣ будутъ слѣдующія:

$$T=10^{ч}\ 56^{м},$$
$$J=16^{ч}\ 7^{м},$$
время восхода $6^{ч}\ 45^{м}$,
» захода $5^{ч}\ 41^{м}$.

Тотъ же вопросъ можно рѣшить графически. Пусть (фиг. 15) EE'—экваторъ, PP'—ось міра, S—солнце, CC_1—параллель мѣста наблюденія, AB—плоскость перпендикулярная къ солнечнымъ лучамъ, проведенная черезъ центръ земли и отдѣляющая освѣщенную часть земли отъ неосвѣщенной (плоскость освѣщенія). Плоскость освѣщенія пересѣкаетъ параллель CC_1 по линіи, перпендикулярной къ плоскости бумаги и точка D есть проекція этого сѣченія. Повернемъ плоскость параллели около оси CC_1 до совпаденія съ плоскостью бумаги. Тогда $D_1'C_1D_1$ будетъ *дневная*

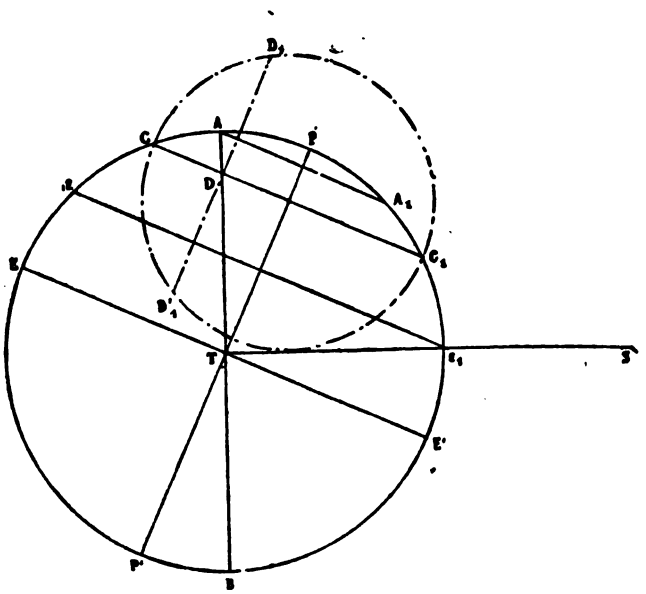
Digitized by Google

дуга, а $D_1'CD_1$ — *ночная*. Остается измѣрить эти дуги и перевести въ часы, помня, что 360° соотвѣтствуютъ 24 часамъ. Продолжительность наиболѣе длиннаго (a) и наиболѣе короткаго дня (b) въ различныхъ широтахъ выразится слѣдующимъ образомъ:

φ . . .	10°	20°	30°	40°	50°	60°
a . . .	12ч 35м	13ч 13м	13ч 56м	14ч 51м	16ч 9м	18ч 30м
b . . .	11ч 25м	10ч 47м	10ч 4м	9ч 9м	7ч 51м	5ч 30м

Сѣвернѣе полярнаго круга, продолжительность непрерывнаго дня (c) и непрерывной ночи (d) слѣдующая:

φ . . .	70°	75°	80°	85°	90°	
c . . .	65	103	134	161	186	сутокъ
d . . .	60	97	127	153	179	»



Фиг. 15.

Для южнаго полушарія строка c соотвѣтствуетъ ночи, а строка d — дню. Рефракція, какъ увидимъ ниже, видоизмѣняетъ эти числа.

При физико-географическихъ работахъ часто приходится опредѣлять направленіе меридіана, время, широту и долготу мѣста. Точное рѣшеніе этихъ задачъ излагается въ полныхъ

Digitized by Google

курсахъ практической астрономіи и требуетъ обширной теоретической и наблюдательной подготовки. Въ нашемъ введеніи мы можемъ лишь возобновить въ памяти общіе принципы, лежащіе въ основѣ этихъ опредѣленій, а также указать соотвѣтствующіе источники для болѣе детальнаго изученія вопроса.

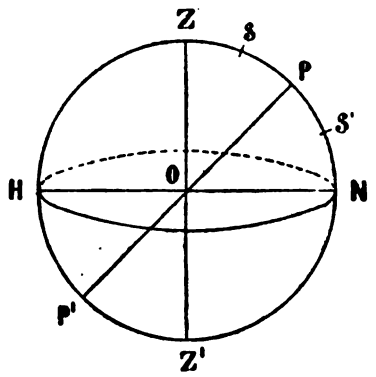
Для опредѣленія полуденной линіи наблюдаютъ въ извѣстный моментъ какую-нибудь звѣзду *до* ея прохожденія черезъ меридіанъ; замѣчаютъ положеніе (α) трубы на азимутальномъ кругѣ теодолита и укрѣпляютъ неподвижно трубу вертикальнаго круга. Затѣмъ, стараются уловить тотъ моментъ, когда звѣзда, *послѣ* кульминаціи появится на пересѣченіи нитей трубы вертикальнаго круга и опять отмѣчаютъ положеніе (α') алидады на горизонтальномъ кругѣ. Такъ какъ оба отсчета сдѣланы симметрично относительно меридіана, то положеніе меридіана будетъ соотвѣтствовать отсчету круга $\frac{\alpha+\alpha'}{2}$. Если поставимъ вертикальный кругъ на этомъ дѣленіи, то труба его будетъ направлена по меридіану. Способъ этотъ называется способомъ соотвѣтствующихъ или равныхъ высотъ.

Существуетъ приблизительный способъ опредѣленія меридіана безъ спеціальныхъ инструментовъ при помощи наблюденія полярной звѣзды (α Малой Медвѣдицы, отстоящей отъ полюса на $1^{0}15'$). Избравъ по возможности открытое и ровное мѣсто, въ ясный и безоблачный вечеръ, а еще лучше при лунномъ свѣтѣ, воткнемъ въ землю наклонно вѣху, отъ трехъ до четырехъ метровъ вышиною, и привяжемъ къ ней тонкую веревочку, натертую мѣломъ, съ гирею, касающеюся земли. Замѣтивъ на землѣ точку прикосновенія гири, получимъ первую точку, чрезъ которую должна проходить линія меридіана. Затѣмъ, въ то время, когда, согласно особой таблички [1]), полярная звѣзда должна проходить черезъ меридіанъ, установимъ, на разстояніи отъ одного до двухъ метровъ къ сѣверу, другую подобную вѣху съ веревкою и гирею такъ, чтобы обѣ веревки и полярная звѣзда находились въ одной вертикальной плоскости. Точка прикосновенія второй гири съ землею дастъ другую точку; соединивъ ее прямою съ первою, получимъ линію меридіана.

[1]) Табличку эту можно найти въ «Русскомъ астрономическомъ календарѣ», издаваемомъ кружкомъ любителей астрономіи и физики въ Нижнемъ-Новгородѣ.

Digitized by Google

Для опредѣленія высоты полюса измѣряютъ зенитныя разстоянія ZS и ZS' (фиг. 16) какой-нибудь незаходящей звѣзды во время прохожденія ея черезъ меридіанъ; очевидно:



Фиг. 16.

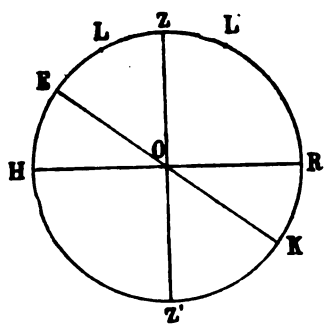
$$ZS=Z=90^0-\varphi-P$$
$$ZS'=Z'=90^0-\varphi+P$$

откуда $$\varphi=90^0-\frac{Z+Z'}{2}$$

Но высоту полюса можно опредѣлить при посредствѣ одного только наблюденія. Пусть (фиг. 17) HR—горизонтъ, EK—экваторъ, L—звѣзда въ моментъ кульминаціи. Очевидно:

$$EZ=EL+LZ$$
или $$\varphi=\delta+Z$$

Для приблизительнаго опредѣленія поправки часовъ и широты, проф. Глазенапъ устроилъ два инструмента, пользованіе которыми не представляетъ никакихъ затрудненій: солнечный треугольникъ и солнечное кольцо. Описаніе ихъ устройства и употребленія напечатано въ «Русскомъ астрономическомъ календарѣ», а также въ формѣ особыхъ брошюръ.

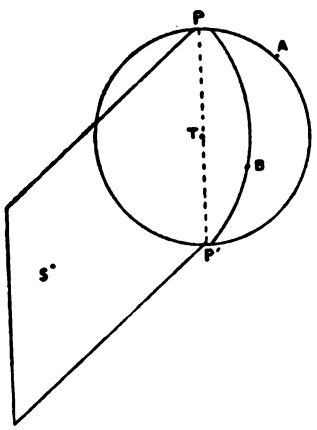


Фиг. 17.

Опредѣленіе долготы мѣста основывается на слѣдующемъ принципѣ: разность долготъ двухъ точекъ земной поверхности равна разности часовыхъ угловъ одной и той же звѣзды, наблюдаемой въ одинъ и тотъ же моментъ въ этихъ двухъ точкахъ земли. И дѣйствительно. Возьмемъ на земной поверхности (фиг. 18) двѣ точки A и B и ихъ меридіаны PAP' и PBP'. Пусть S есть звѣзда; черезъ ось міра и эту звѣзду проведемъ плоскость PSP'. Часовой уголъ звѣзды, взятый изъ точки A, будетъ двугранный уголъ $APP'S$; часовой уголъ той же звѣзды,

Digitized by Google

взятый изъ точки B, будетъ двугранный уголъ $BPP'S$; разность этихъ двугранныхъ угловъ равна углу $APP'B$, т. е. разности долготъ точекъ A и B. При этомъ нужно считать долготу отъ 0^0 до 360^0 къ востоку, т. е. въ сторону, противоположную той, въ которой ведутъ счетъ часовыхъ угловъ. Если вмѣсто звѣзды S возьмемъ точку весенняго равноденствія, то можно сказать, что разность долготъ двухъ мѣстъ равна разности звѣздныхъ временъ этихъ мѣстъ въ одинъ и тотъ же моментъ. Отсюда видно, что для опредѣленія разности долготъ двухъ мѣстъ, нужно, въ каждомъ изъ данныхъ мѣстъ, имѣть хронометръ, показывающій звѣздное время. Затѣмъ, нужно произвести отсчеты этихъ хронометровъ въ одинъ и тотъ же *абсолютный* моментъ. Разность показаній хронометровъ дастъ разность долготъ, выраженную въ звѣздномъ времени. Все дѣло, слѣдовательно, въ томъ, чтобы сдѣлать отсчеты хронометровъ въ одинъ и тотъ же *абсолютный* моментъ. Съ этой цѣлью, соединяютъ точки A и B телеграфной проволокой, при помощи которой посылаютъ сигналъ и наблюдаютъ, каждый по своимъ часамъ, моментъ посылки и полученія сигнала. Если, напримѣръ, изъ станціи A сигналъ посылаютъ въ $10^ч\ 15^м\ 17^с$ мѣстнаго времени, а на станціи B сигналъ полученъ въ $11^ч\ 31^м\ 19^с$ мѣстнаго времени, то разность долготъ будетъ $1^ч\ 16^м\ 2^с$ или $19^0\ 0'\ 30''$, т. е. станція A западнѣе станціи B на $19^0\ 0'\ 30''$. Вмѣсто телеграфа для этой цѣли могутъ служить какіе-либо естественные или искусственные сигналы, напр, пороховыя вспышки, начало или конецъ затменій спутниковъ Юпитера, покрытіе звѣздъ луною. Наконецъ, опредѣляютъ разность долготъ при помощи перевозки хронометровъ. Хронометръ, показывающій звѣздное время станціи A, перевозятъ въ точку B и опредѣляютъ поправку его по мѣстному времени станціи B.



Фиг. 18.

Всѣ астрономическія измѣренія должны быть исправлены

Digitized by Google

отъ рефракціи или преломленія свѣта въ земной атмосферѣ. Вслѣдствіе рефракціи, свѣтила кажутся выше своего надлежащаго мѣста и поправка зависитъ отъ высоты свѣтила надъ горизонтомъ. О рефракціи будетъ рѣчь въ метеорологической оптикѣ, а теперь приведемъ лишь таблицу поправокъ для разныхъ высотъ свѣтила надъ горизонтомъ, при давленіи 760° и температурѣ 10° *C.*

Высота свѣтила.	Рефракція.
0°	33′ 47″.9
1	24 22 .3
2	18 23 .1
3	14 28 .7
4	11 48 .8
5	9 54 .8
10	5 20 .0
20	2 38 .9
30	1 40 .7
40	1 9 .4
50	0 48 .9
60	0 33 .7
70	0 21 .2
80	0 10 .3
90	0 0 .0

Если измѣренная высота свѣтила $h=40°$, то дѣйствительная

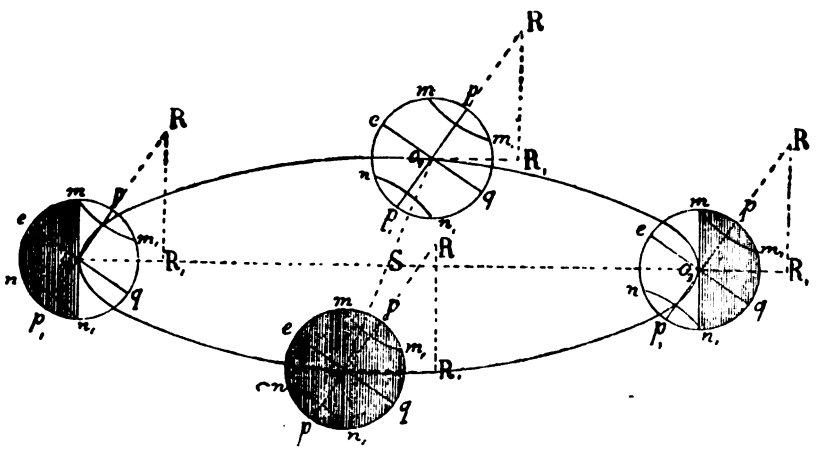
$$h'=40-1'9''.4=39°\ 58'\ 50''.6.$$

Земля имѣетъ также *годовое* (фиг. 19) движеніе около солнца. При этомъ движеніи ось земли наклонена къ плоскости орбиты подъ угломъ 66° 33′ (точнѣе 66° 32′ 54″.30). Если бы ось земли была всегда перпендикулярна къ плоскости своей орбиты, то солнце всегда бы оставалось въ плоскости экватора. Но вслѣдствіе наклоненія оси къ орбитѣ, солнце бываетъ видимо то на экваторѣ (21 марта и 23 сентября), то къ сѣверу, то къ югу отъ экватора. Наибольшее возможное отступленіе солнца отъ экватора, очевидно, равно $\pm 23°\ 27'$ (22 іюня и 22 декабря). О скорости, съ которой измѣняется склоненіе, можно судить по слѣдующимъ числамъ:

Digitized by Google

20 марта	склоненіе	измѣняется	на	29′	въ	сутки
20 августа	»	»	»	20′	»	»
20 мая	»	»	»	12′	»	»
5 іюня	»	»	»	6′	»	»
15 іюля	»	»	»	2′	»	»

Чтобы упростить изученіе обстоятельствъ годового движенія, можно допустить, что солнце, въ теченіе года, совершаетъ, въ *прямомъ* смыслѣ, свое видимое движеніе по большому кругу *SS* (эклиптикѣ), наклоненному къ экватору подъ угломъ 23° 27′. Мы уже разсмотрѣли раньше суточное движеніе точекъ свода, находящихся въ различныхъ разстояніяхъ отъ экватора. На



Фиг. 19.

этомъ основаніи, обстоятельства годового движенія солнца въ различныхъ широтахъ представятся въ слѣдующемъ видѣ.

На экваторѣ день всегда равенъ ночи. Въ дни равноденствій солнце проходитъ черезъ зенитъ. Въ теченіе лѣтней половины года верхняя кульминація происходитъ съ сѣверной стороны зенита; въ зимнюю половину года — къ югу отъ зенита.

Въ тропическомъ поясѣ сѣвернаго полушарія (между 0° и 23° 27′ с. ш.), суточный путь солнца наклоненъ къ горизонту. Въ день весенняго равноденствія день равенъ ночи. Когда сѣверное склоненіе солнца возрастаетъ, — дневной путь солнца и

Digitized by Google

полуденная его высота увеличиваются, а ночная дуга уменьшается. Полуденная высота H опредѣляется по формулѣ:

$$H=90-\varphi+\delta=90-(\delta-\varphi).$$

Если солнце удалится отъ экватора на столько, что $\delta=\varphi$, то $H=90^0$, т. е. солнце проходитъ черезъ зенитъ. Если $\delta>\varphi$, то $H>90$, т. е. солнце кульминируетъ съ сѣверной стороны зенита. Въ точкахъ, лежащихъ на тропикѣ, для которыхъ $\varphi=\delta$, прохожденіе солнца черезъ зенитъ имѣетъ мѣсто въ день лѣтняго солнцестоянія. Затѣмъ явленіе происходитъ въ обратномъ порядкѣ, т. е. склоненіе солнца, постепенно уменьшаясь, достигаетъ нуля. Въ этотъ моментъ день равенъ ночи. Послѣ этого, склоненіе дѣлается южнымъ, день становится меньше ночи, полуденная высота солнца уменьшается; наиболѣе короткій день и наименьшая меридіональная высота солнца наступаютъ въ день зимняго солнцестоянія. Далѣе, явленіе повторяется въ обратномъ порядкѣ до дня весенняго равноденствія.

Въ умѣренномъ поясѣ сѣвернаго полушарія въ день весенняго равноденствія день равенъ ночи. Полуденная высота солнца равна $90^0-\varphi$. Затѣмъ день увеличивается въ ущербъ ночи и полуденная высота солнца возрастаетъ. Наибольшая длина дня и наибольшая полуденная высота солнца бываютъ въ день лѣтняго солнцестоянія. Въ Одессѣ эта высота

$$H=90^0-46^0\,28'+23^0\,27'=66^0\,59'.$$

Послѣ лѣтняго солнцестоянія, длина дня и полуденная высота солнца убываютъ до дня осенняго равноденствія, когда день опять равенъ ночи. Послѣ осенняго равноденствія ночь становится больше дня, и это возрастаніе продолжается до дня зимняго солнцестоянія. Въ этотъ день ночь достигаетъ наибольшей длины; меридіональная-же высота солнца въ Одессѣ

$$H=90^0-46^0\,28'-23^0\,27'=20^0\,5'.$$

Съ этого дня начинается убываніе ночи и увеличеніе полуденной высоты солнца до дня весенняго равноденствія.

На сѣверномъ полярномъ кругѣ, въ день весенняго равноденствія, день равенъ ночи. Затѣмъ длина дня и полуденная высота солнца увеличиваются и, наконецъ, въ день лѣтняго солнце-

Digitized by Google

стоянія, когда склоненіе солнца $\delta = 23^0 27'$, солнце обращается въ незаходящее свѣтило и весь свой путь, наклоненный къ горизонту подъ угломъ $23^0 27'$, описываетъ *надъ* горизонтомъ. Затѣмъ начинается обратный ходъ и въ день зимняго солнцестоянія, когда склоненіе равно $-23^0 27'$, солнце обращается въ свѣтило невосходящее и въ теченіе сутокъ описываетъ весь свой путь *подъ* горизонтомъ.

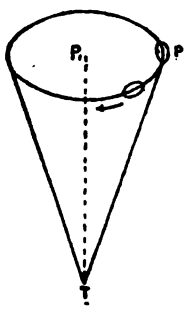
Въ какой-нибудь точкѣ, лежащей между полярнымъ кругомъ и полюсомъ, солнце можетъ быть свѣтиломъ незаходящимъ или невосходящимъ нѣсколько дней и даже мѣсяцевъ. Напр., подъ широтой $\varphi = 80^0$, высота полюса надъ горизонтомъ равна 80^0, а поэтому всѣ тѣ точки неба, которыя отстоятъ отъ полюса не болѣе 80^0, коихъ склоненіе болѣе 10^0, будутъ незаходящими. Слѣдовательно, солнце, подъ широтой 80^0, будетъ не заходить съ того момента, когда склоненіе достигаетъ 10^0 и сплошь до того момента, когда оно, пройдя черезъ точку лѣтняго солнцестоянія, опять приблизится къ экватору на 10^0. Очевидно, что чѣмъ сѣвернѣе лежитъ мѣсто, тѣмъ продолжительность непрерывнаго пребыванія солнца надъ горизонтомъ дѣлается больше. Точно также можно показать, что если солнце, двигаясь къ точкѣ зимняго солнцестоянія, достигаетъ склоненія -10^0, то оно обращается въ свѣтило невосходящее, т. е. ночь будетъ непрерывно продолжаться все то время, пока абсолютная величина склоненія не сдѣлается меньше 10^0 (для широты $\varphi = 80^0$).

Наконецъ, на сѣверномъ полюсѣ, солнце будетъ оставаться *надъ* горизонтомъ (день) отъ точки весенняго до точки осенняго равноденствія. Оно не будетъ восходить (ночь) въ остальное время года. Оставаясь надъ горизонтомъ, оно будетъ описывать кривую, напоминающую винтовую линію. При всѣхъ этихъ выводахъ, мы не принимаемъ во вниманіе явленій рефракціи и свѣторазсѣянія, видоизмѣняющихъ нѣсколько общій ходъ.

До сихъ поръ мы предполагали, что ось земли наклонена къ плоскости орбиты подъ угломъ $66^0 33'$ и сохраняетъ въ пространствѣ свое положеніе. Вслѣдствіе этого, точки пересѣченія эклиптики и экватора (точки весенняго и осенняго равноденствій) сохраняютъ всегда свое неизмѣнное положеніе. Но въ дѣйствительности явленіе совершается въ болѣе сложной формѣ. Ось земли не сохраняетъ своего неизмѣннаго положенія въ пространствѣ. Она описываетъ (фиг. 20) около перпендикуляра къ пло-

Digitized by Google

скости орбиты коническую поверхность, полуотверстіе котораго равно наклоненію эклиптики къ экватору. Движеніе это совершается въ *прямомъ* смыслѣ въ теченіе приблизительно 26000 лѣтъ. Кромѣ того, ось земли совершаетъ періодическія колебанія, описывая конусъ около своего средняго положенія; амплитуда этого колебанія равна 18″.4 по направленію движенія и 13″.7 по направленію перпендикулярному; періодъ—$18^2/_3$ года. Первое движеніе называется *прецессіей или предвареніемъ равноденствій*, второе—*нутаціей*. Вслѣдствіе прецессіи точка весенняго равноденствія не остается неизмѣнной; она перемѣщается, идя на встрѣчу видимому движенію солнца по эклиптикѣ, на 50″.2 въ годъ; другими словами, точка весенняго равноденствія отступаетъ на 50″.2 ежегодно.



Фиг. 20.

Счисленіе времени. Раньше мы видѣли, что звѣздное время есть часовой уголъ точки весны. Точка весны перемѣщается въ годъ на 50″.2, поэтому, звѣздныя сутки не вполнѣ строго равны промежутку времени между двумя послѣдовательными прохожденіями неподвижной звѣзды черезъ меридіанъ. Но измѣрять время звѣздными сутками и часами неудобно, такъ какъ всѣ наши работы связаны съ движеніемъ солнца. Истинное солнечное время есть часовой уголъ солнца. Истинныя солнечныя сутки есть промежутокъ времени между двумя послѣдовательными верхними кульминаціями солнца. Если въ данный моментъ назовемъ звѣздное время черезъ t_s, истинное время черезъ t_s, а прямое восхожденіе солнца черезъ α, то

$$t_s = t_s + \alpha$$

Если солнце и какая-нибудь звѣзда кульминировали сегодня вмѣстѣ, то на слѣдующій день звѣзда прійдетъ на меридіанъ раньше, чѣмъ солнце, т. е. истинныя солнечныя сутки больше звѣздныхъ. Кромѣ того, различныя солнечныя сутки неравны между собой, потому что: 1) движеніе солнца по эклиптикѣ неравномѣрно и 2) плоскость эклиптики наклонена къ плоскости экватора. Вслѣдствіе этого, истинныя солнечныя сутки не могутъ быть приняты за единицу времени. Представимъ себѣ фиктивное солнце, которое, двигаясь равномѣрно по эклиптикѣ, проходитъ перигей въ одно время съ дѣйствительнымъ солнцемъ. Введе-

Digitized by Google

ніемъ этого фиктивнаго солнца мы устраняемъ первую причину неравенства солнечныхъ сутокъ. Допустимъ далѣе, другое фиктивное солнце, *среднее солнце*, которое движется равномѣрно по экватору съ такой же скоростью, съ какой первое фиктивное солнце движется по эклиптикѣ и проходитъ одновременно съ нимъ черезъ точку весенняго равноденствія. Часовой уголъ этого *средняго* солнца есть *среднее* солнечное время; промежутокъ времени между двумя послѣдовательными прохожденіями этого солнца черезъ меридіанъ называютъ *среднія* солнечныя сутки, а моментъ верхней кульминаціи этого солнца—*средній* полдень. Если черезъ t_m обозначимъ среднее время, то

$$t_s = t_m + \alpha',$$

а раньше мы имѣли $t_s = t_a + \alpha$, откуда $t_m - t_a = \alpha - \alpha'$ или

$$t_m = t_a + (\alpha - \alpha').$$

Разность между временемъ среднимъ и истиннымъ называется *уравненіемъ* времени. Разность эту нужно приложить алгебрически къ истинному времени, чтобы получить среднее. Уравненіе времени періодически измѣняется въ теченіе года

1	января	4^s
11	февраля	$14^m\ 26^s$
16	апрѣля	$0^m\ 0^s$
14	мая	$3^m\ 52^s$
14	іюня	$0^m\ 0^s$
26	іюля	$6^m\ 18^s$
1	сентября	$0^m\ 0^s$
3	ноября	$16^m\ 20^s$
24	декабря	0

Тропическимъ годомъ называется промежутокъ времени между двумя послѣдовательными прохожденіями солнца черезъ точку весенняго равноденствія. Тропическій годъ заключаетъ въ себѣ 366, 242217 звѣздныхъ дней. Нетрудно найти соотношеніе между звѣздными и средними сутками. Угловая скорость движенія солнца по эклиптикѣ неодинакова въ теченіи года; она наибольшая вблизи перигея—31 декабря ($1^\circ\ 1'\ 19''$) и наименьшая

Digitized by Google

въ апогеѣ (57′ 12″.3) Средняя скорость V получится, если мы 360° раздѣлимъ на время оборота солнца, т. е.

$$V=\frac{360^0}{366.242217}=58'58''.642$$

Слѣдовательно, въ теченіе звѣздныхъ сутокъ j_s, среднее солнце пробѣгаетъ 360°—58′ 58″.642. Очевидно, что среднія солнечныя сутки j_m опредѣлятся изъ пропорціи:

$$\frac{j_m}{j_s}=\frac{360^0}{360^0-58'58''.642}$$

$$\frac{j_m}{j_s}=1.0027379$$

откуда:

$$j_s=j_m-3^m\ 56^s,\ 453 \text{ средн. врем.}$$

$$j_m=j_s+3^m\ 56^s,\ 555 \text{ звѣзд. врем.}$$

На основаніи этихъ соотношеній можно найти, что длина тропическаго года равна 365.242217 среднихъ солнечныхъ сутокъ=365^{дн} 5^{ч} 48^{м} 47^{с}.51.

Звѣздный годъ (a_s) есть время, нужное для того, чтобы солнце описало полный кругъ, т. е. чтобы оно возвратилось въ ту же точку неба. Чтобы вычислить длину звѣзднаго года, нужно только къ длинѣ тропическаго года прибавить время, нужное для прохожденія 50″.2 (величину прецессіи). На этомъ основаніи:

$$a_s=365.256374 \text{ средн. солн. сутокъ.}$$

Гражданскій годъ есть соединеніе извѣстнаго числа дней. Въ практическомъ отношеніи весьма важно, чтобы годъ состоялъ изъ цѣлаго числа дней и, во-вторыхъ, необходимо, чтобы опредѣленныя числа и начало года падали на однѣ и тѣ же времена года. Между тѣмъ, тропическій годъ не состоитъ изъ цѣлаго числа дней. Эти требованія достигаются помощью извѣстной комбинаціи, которая составляетъ сущность *календарей*.

У древнихъ египтянъ годъ считали въ 365 дней, т. е. почти на 6 часовъ меньше. Вслѣдствіе этого, къ концу 120 лѣтъ, начало года перемѣщалось, по сравненію съ первоначальнымъ, приблизительно на 30 дней. Если первоначально начало года было, положимъ, въ серединѣ зимы, то черезъ 800 лѣтъ оно ока-

Digitized by Google

зывалось въ серединѣ лѣта. Это неудобство исправлено Юліемъ Цезаремъ въ 45 году до Р. Х. По юліанскому календарю годъ принятъ въ 365 дней 6 часовъ, три года принимаютъ въ 365 дней, а четвертый въ 366 (високосный). Високоснымъ годомъ считается годъ, послѣднія 2 цифры котораго дѣлятся на 4. Этотъ календарь называется *юліанскимъ* или *старымъ стилемъ*. Юліанскій календарь принималъ длину года больше дѣйствительной на величину 365.25—365.242217=0.007783. Въ 400 лѣтъ эта разница достигаетъ 3.1132 дней; къ концу 16-го столѣтія она равнялась уже 10 днямъ, такъ что время весенняго равноденствія перемѣстилось на 11 марта. Папа Григорій XIII, чтобы вернуть день равноденствія къ прежней датѣ, распорядился, день, слѣдующій за 4 октября 1582 года, считать не 5, а 15 октября. Такъ какъ въ 400 лѣтъ накопляется 3.1132 дня, то на будущее время отбрасывать каждые 400 лѣтъ по 3 дня; а для этого считать високосными только тѣ годы столѣтій, которые дѣлятся на 4; такимъ образомъ, годы 1700, 1800 и 1900,—високосные по юліанскому календарю,—будутъ простые по новому календарю, грегоріанскому. Но въ 400 лѣтъ, по грегоріанскому календарю отбрасывается трое сутокъ; между тѣмъ, въ эти 400 лѣтъ накопляется 3.1132 дня; слѣдовательно, въ 400 лѣтъ ошибка грегоріанскаго календаря равна 0.1132 дня. По прошествіи 4000 лѣтъ эта ошибка достигнетъ 1.132 дня. Можно компенсировать и эту ошибку, считая годы 4000, 8000 и т. д. простыми.

Большей точностью отличается персидскій календарь. Въ теченіе 33 лѣтняго періода существуютъ годы високосные и простые. Високосными годами считаются: 4-й, 8, 12, 16, 20, 24, 28 и 33. Истинная продолжительность этого 33 лѣтняго періода равна 12052.993161, а по персидскому календарю—12053.0 д.; разность 0.006839 дн. въ 33 года, что составляетъ 0.207 дня въ 1000 лѣтъ или 1 день въ 4830 лѣтъ.

Луна. Луна описываетъ около земли эллипсъ, въ одномъ изъ фокусовъ котораго находится земля. Орбита луны встрѣчаетъ плоскость эклиптики въ двухъ точкахъ, которыя называются *узлами*, а линія, ихъ соединяющая, есть *линія узловъ*. Движеніе луны совершается по прямому направленію. Тотъ узелъ, который проходитъ луна, переходя отъ южнаго полушарія въ сѣверное, называется *восходящимъ* узломъ, другой же узелъ называется

Digitized by Google

нисходящимъ. Линія узловъ имѣетъ обратное движеніе и пробѣгаетъ эклиптику въ 6793 дня или $18\frac{2}{3}$ года. Уголъ, составленный плоскостью лунной орбиты съ плоскостью эклиптики называется наклоненіемъ лунной орбиты. Это наклоненіе колеблется между 5° 0′ 1″ и 5° 17′ 35″, (среднее 5° 8′ 47″.9). Ось лунной орбиты описываетъ около оси эклиптики конусъ, полуотверстіе котораго равно 5° 8′ 47″.9. Эксцентриситетъ луннаго пути равенъ 0.05490807 или приблизительно $\frac{1}{18}$. Перигей имѣетъ также прямое движеніе, періодъ котораго 3232.57 дней или около 9 лѣтъ. Вслѣдствіе движенія линіи узловъ, наклонъ лунной орбиты къ экватору колеблется между

$$23^\circ 27' + 5^\circ 9' = 28^\circ 36'$$
$$23^\circ 27' - 5^\circ 9' = 18^\circ 18'$$

Средній параллаксъ 57′ 2″.2. Среднее разстояніе 60.2745 экваторіальныхъ радіусовъ земли или 384446 километр. (максимумъ—64, минимумъ—56 земныхъ радіус.). Видимый діаметръ луны 31′ 8″.18 (максимумъ — 33′ 34″, минимумъ — 29′ 26″). Радіусъ луны—1741.03 километра. Объемъ равенъ $\frac{1}{50}$ (0.0204067) объема земли. Масса луны — $\frac{1}{80}$ (0.0125522) массы земли; плотность—3.38 (по отношенію къ водѣ); напряженіе тяжести на поверхности луны—0.1685.

Луна вращается около оси съ запада на востокъ, и продолжительность оборота равна продолжительности сидерическаго вращенія. Ось вращенія луны составляетъ 88° 28′ 38″ съ плоскостью эклиптики; что даетъ $1\frac{1}{2}^\circ$ для наклоненія плоскости луннаго экватора къ плоскости эклиптики. *Синодическимъ* оборотомъ луны называется промежутокъ времени между двумя послѣдовательными одноименными фазами луны. Продолжительность—29$^{дн.}$ 12^{ч} 44^{м} 2^{с}.9. *Сидерическимъ* оборотомъ называется время между двумя послѣдовательными соединеніями луны съ одной и той же звѣздою. Длина его 27^{дн} 7^{ч} 43^{м} 11^{с}.5. Дѣля 360° на это послѣднее число, получимъ среднюю дневную угловую скорость движенія луны; она равна 13° 10′ 35″.03. Отсюда средняя длина лунныхъ сутокъ равна 24^{ч} 58^{м} 28^{с}.

Digitized by Google

На небесномъ сводѣ солнце и луна могутъ занимать различныя положенія относительно земли; этими положеніями обусловлены *фазы* луны, затменія солнца и луны, а также измѣненія въ ходѣ приливовъ и отливовъ. Если солнце и луна имѣютъ одну и ту же долготу, то оба свѣтила одновременно проходятъ черезъ меридіанъ; неосвѣщенная солнцемъ сторона луны обращена къ землѣ, а потому луна невидна (новолуніе). Затѣмъ, разность долготъ увеличивается; верхняя кульминація луны по отношенію къ солнцу запаздываетъ; наконецъ, спустя $7^1/_2$ дней послѣ новолунія, разность долготъ луны достигаетъ 90^0; луна кульминируетъ въ 6 часовъ и представляется намъ въ формѣ освѣщеннаго полукруга (первая четверть). Разность долготъ продолжаетъ увеличиваться; верхняя кульминація наступаетъ все позже и позже; наконецъ, $14^1/_4$ дня спустя послѣ новолунія разность долготъ достигаетъ 180^0. Теперь луна и солнце находятся съ противоположныхъ сторонъ по отношенію къ землѣ и вся освѣщенная часть луны обращена къ землѣ; луна представляется намъ въ видѣ освѣщеннаго круга и кульминація имѣетъ мѣсто въ полночь (полнолуніе). Спустя 22 дня отъ начала новолунія, разность долготъ дѣлается равной 270^0 и луна кульминируетъ въ 6 часовъ утра (послѣдняя четверть). Спустя $29^1/_2$ дней наступаетъ опять новолуніе. Если разность долготъ солнца и луны равна 0^0, т. е. оба свѣтила находятся по одну и ту же сторону земли, то говорятъ, что онѣ находятся въ *соединеніи*. Если разность долготъ равна 180^0, т. е. солнце и луна находятся съ противоположныхъ сторонъ по отношенію къ землѣ, то говорятъ, что онѣ находятся въ *противостояніи*. Оба эти положенія называютъ вообще *сизигіями*. Если же разность долготъ солнца и луны равна 90^0, то свѣтила находятся въ *квадратурахъ*.

Измѣненіе относительныхъ положеній солнца и луны на небесномъ сводѣ можетъ вызвать и другое явленіе: затменіе солнца и луны. Земля и луна, какъ тѣла непрозрачныя, бросаютъ отъ себя конусъ тѣни въ пространство. Если земля, при своемъ движеніи около солнца, вступаетъ въ конусъ тѣни, брошенный луною, то наступаетъ затменіе солнца (частичное, кольцевидное или полное). Если луна входитъ въ конусъ земной тѣни, то часть луны остается неосвѣщенной и наступаетъ *лунное затменіе*. Очевидно, что солнечное затменіе можетъ наступить

Digitized by Google

только тогда, когда солнце и луна находятся въ соединеніи или вблизи него. Лунное затменіе можетъ быть наблюдаемо тогда, когда солнце и луна находятся въ противостояніи или вблизи него. Если бы солнце и луна всегда находились въ плоскости эклиптики, то ось конуса тѣни также всегда бы ложилась въ этой же плоскости, и мы бы должны были наблюдать затменіе во время всякого соединенія и противостоянія. Но въ дѣйствительности лунная орбита наклонена къ плоскости эклиптики и пересѣкаетъ эту послѣднюю въ двухъ точкахъ (узлахъ). Слѣдовательно, затменіе возможно только тогда, когда во время соединенія или противостоянія луна находится въ одномъ изъ узловъ или вблизи одного изъ нихъ. Вообще найдено, что лунное затменіе невозможно, если широта луны въ моментъ соединенія больше $1^{\circ}2'50''$, солнечное затменіе невозможно, если въ моментъ противостоянія широта луны болѣе $1^{\circ}34'$. Но линіи узловъ перемѣщаются въ пространствѣ въ обратномъ направленіи. Слѣдовательно, возможно, что, спустя извѣстный періодъ времени, солнце, луна и линія узловъ прійдутъ въ первоначальное относительное положеніе. Тогда затменія будутъ повторяться въ прежнемъ порядкѣ. Періодъ времени, необходимый для того, чтобы разность долготъ солнца и узла измѣнилась на 360°, называется *синодическимъ* обращеніемъ узловъ. Время этого обращенія равно 346.62 дн. Но 19 синодическихъ обращеній узловъ заключаютъ 6585.78 дней, а 223 синодическихъ оборота луны равны 6585.32 дня; слѣдовательно, по истеченіи 18 лѣтъ и 11 дней солнце, луна и линія узловъ принимаютъ прежнее относительное положеніе, и затменія повторяются въ прежнемъ порядкѣ.

Въ заключеніе замѣтимъ, что вся наша солнечная система, въ ея цѣломъ, имѣетъ поступательное движеніе въ пространствѣ. Пытались (Herschel, Struve, Boss) опредѣлить ту точку свода, по направленію къ которой несется наша солнечная система. Но задача эта пока еще не рѣшена съ достаточной степенью точности.

Фигура земли во второмъ приближеніи. Точныя, такъ называемыя *градусныя*, измѣренія показали, что длина градусовъ меридіана постепенно увеличивается отъ экватора къ полюсамъ, какъ это видно изъ слѣдующаго:

Подъ широтою 0°	. .	110.56 вил.
» » 20	. .	110.70 »

Digitized by Google

Подъ широтою 40° . .	111.03	кил.
» » 60 . .	111.41	»
» » 80 . .	111.65	»
» » 90 . .	111.68	»

Слѣдовательно, истинная фигура земли уклоняется отъ формы шара. Во второмъ приближеніи принимаютъ, что земля имѣетъ форму эллипсоида вращенія. Большая (a) и малая (b) полуоси этого эллипсоида имѣютъ слѣдующіе размѣры въ метрахъ:

	Bessel	Clarke	Faye	Ждановъ
a=	6377397	6378253	6378393	6377717
b=	6356079	6356521	6356549	6356433
$a-b$=	21318	21732	21844	21284

Сжатіемъ (e) называютъ дробь

$$e=\frac{a-b}{a}.$$

На этомъ основаніи:

	Bessel	Clarke	Faye	Ждановъ
e=	$\frac{1}{299.2}$	$\frac{1}{293.5}$	$\frac{1}{292.0}$	$\frac{1}{299.7}$

Если въ основу вычисленій положить числа Faye'a, то:

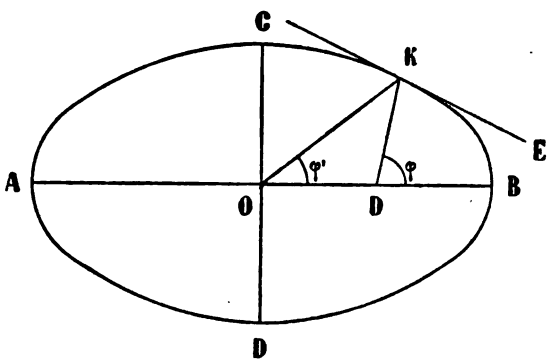
Четверть меридіана равна	10002008	метр. [1].
Средняя длина градуса меридіана	111133.4	» [2].
Окружность экватора	40076625	»
Поверхность въ квадр. километрахъ . .	510082000	»
Объемъ въ кубич. километрахъ	1083260	»
Радіусъ сферы, поверхность которой равна поверхности земли	6371109	»
Радіусъ сферы, объемъ которой равенъ объему земли	6371103	»

[1]) По Clark'y . . . 10001877 метр.
[2]) По Clark'y . . . 111.1320 метр.

Digitized by Google

Изъ этой таблицы видно, что длина той линейки, которая называется *метромъ* и которая хранится въ національномъ архивѣ Франціи, не составляетъ точно $\frac{1}{10000000}$ части четверти земного меридіана. Десятимилліонная часть четверти земного меридіана длиннѣе метра на 0.0002 метра.

Но если земля имѣетъ форму эллипсоида, то очевидно, что отвѣсная линія, т. е. линія, нормальная къ поверхности земли въ какой-нибудь ея точкѣ, не пройдетъ (фиг 21). черезъ центръ O; она пересѣчетъ большую ось AB въ точкѣ D. Уголъ KDB называется географической широтой въ отличіе отъ угла KOB, составляющаго широту *геоцентрическую*. Если географическую широту обозначимъ черезъ φ, а геоцентрическую черезъ φ_1, то между ними существуетъ слѣдующее соотношеніе:



Фиг. 21.

$$tang\varphi_1 = \frac{b^2}{a^2} tang\varphi,$$

гдѣ a и b — полуоси земного эллипсоида.

Существуетъ и другой способъ опредѣленія сжатія земли. Способъ этотъ вытекаетъ изъ формулы Клеро, которая имѣетъ слѣдующій видъ:

$$\alpha + \frac{g - g_0}{g_0} = \frac{5}{2} \frac{f_0}{g_0},$$

гдѣ α — сжатіе земли,
g — ускореніе силы тяжести на полюсѣ,
g_0 — » » » » экваторѣ,
f_0 — центробѣжная сила на экваторѣ.

Digitized by Google

Чтобы опредѣлить g и g_0 достаточно опредѣлить, изъ наблюденій надъ качаніями маятника, ускореніе силы тяжести въ нѣсколькихъ пунктахъ, лежащихъ подъ различными широтами.

Пусть g_1—ускореніе тяжести на широтѣ φ_1,
» g_2— » » » » φ_2,
» g_3— » » » » φ_3,
и т. д.

Между ускореніемъ тяжести g_φ и соотвѣтствующею широтою φ существуетъ слѣдующая зависимость:

$$g_\varphi = g_0 + (g - g_0) \, Sin^2 \varphi \text{ [1]}.$$

Это уравненіе справедливо для каждаго изъ нашихъ наблюденій. Вставимъ, поэтому, въ это уравненіе наблюденныя числа, получимъ столько уравненій, сколько сдѣлано наблюденій; изъ уравненій этихъ, по способу наименьшихъ квадратовъ, опредѣлимъ g_0 и g. Что касается f_0, то изъ физики извѣстно:

$$f_0 = \frac{4\pi^2 R}{T^2}, \text{ гдѣ}$$

R—радіусъ земли,
T—время полнаго обращенія земли около оси

По формулѣ Клеро найдено сжатіе:

Форстеръ . . . $\frac{1}{290}$

Бореніусъ . . . $\frac{1}{286}$

Фишеръ . . . $\frac{1}{284}$

Эри . . . . . $\frac{1}{283}$

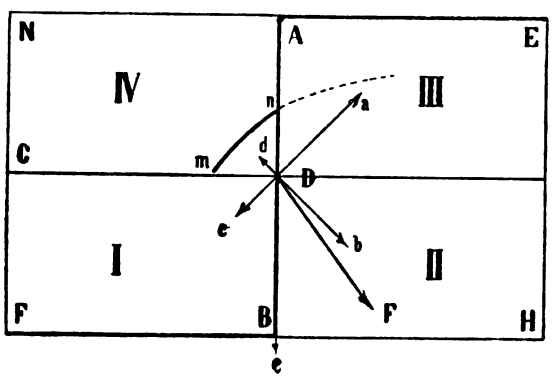
Числа эти значительно уклоняются отъ чиселъ, найденныхъ путемъ градусныхъ измѣреній. Замѣчательно, что вообще

[1]) Выводъ этой формулы, см. Günther, Handbuch der Geophysik, Bd. I, s. 182.

Digitized by Google

самое меньшее изъ нихъ недостигаетъ числа, найденнаго Кларкомъ $\left(\frac{1}{294}\right)$. Очевидно, что отклоненія эти не могутъ быть объяснены погрѣшностями наблюденій Приходится искать причину разногласія въ другомъ мѣстѣ.

Геоидъ. Поверхность океана, въ состояніи равновѣсія, въ каждой точкѣ должна быть нормальна къ направленію равнодѣйствующей всѣхъ силъ, дѣйствующихъ въ этой точкѣ. Но направленіе этой равнодѣйствующей можетъ видоизмѣняться въ каждой данной точкѣ въ зависимости отъ распредѣленія матеріальныхъ массъ, входящихъ въ составъ земли. Представимъ себѣ, напримѣръ, что мы приближаемся къ высокому и крутому берегу. Пусть AB (фиг. 22) представляетъ край материка, который мы примемъ для простоты отвѣснымъ, CD — горизонтальная поверхность воды, FB — дно океана. Разсмотримъ силы, дѣйствующія на точку D. Вообразимъ себѣ линіи AE, CD и FB продолженными и пусть прямыя EH и NF ограничиваютъ собою тѣ части суши, океана и воздуха, которыя способны еще оказывать какое-либо дѣйствіе на точку D. На точку D дѣйствуютъ: 1) притяженіе всѣхъ слоевъ земли, лежащихъ ниже дна; равнодѣйствующая этихъ притяженій направлена, очевидно, вертикально внизъ по линіи DB; 2) притяженіе массъ воды (c) и суши (b); равнодѣйствующая ихъ будетъ направлена очевидно въ сторону суши; 3) притяженіе массъ суши (a) и воздуха (d); равнодѣйствующая направлена тоже въ сторону суши. Очевидно, что общая равнодѣйствующая всѣхъ трехъ силъ будетъ направлена вообще къ части II. Въ виду этого, отвѣсъ, помѣщенный въ точкѣ D, приметъ нѣкоторое направленіе DF. Съ удаленіемъ отъ берега, онъ будетъ постепенно при-



Фиг. 22.

Digitized by Google

ближаться къ вертикальному направленію. Но извѣстно, что жидкость подъ вліяніемъ извѣстныхъ силъ тогда только приходитъ въ равновѣсіе, когда поверхность ея въ каждой точкѣ нормальна къ равнодѣйствующей всѣхъ силъ, дѣйствующихъ на эти точки. Вслѣдствіе этого, уровень океана у берега материка долженъ подняться и принять положеніе *mn*. Если бы мы продолжили эту линію мысленно внутрь материка такъ, чтобы она оставалась постоянно нормальной къ равнодѣйствующей всѣхъ силъ, то мы бы увидѣли, что эта кривая сначала продолжала бы приподыматься, а затѣмъ перешла бы въ горизонтальную. Величина этого поднятія зависитъ, очевидно, отъ величины и направленія тѣхъ силъ, отъ сложенія которыхъ получилась равнодѣйствующая DF, т. е. отъ высоты и плотности материка и глубины прибрежной части моря. Кромѣ того, на направленіе равнодѣйствующей должна вліять не только плотность материка, но также и распредѣленіе массъ внутри земли, по крайней мѣрѣ въ частяхъ ближайшихъ къ точкѣ D. Изъ сказаннаго видно, что истинная поверхность земли, т. е. поверхность спокойнаго океана и ея продолженіе по материковымъ каналамъ, должна уклоняться отъ формы эллипсоида вращенія. Поверхность эта въ высшей степени сложная: она ниже посреди океановъ и поднимается вблизи береговъ. Высота поднятія различна въ зависимости отъ рельефа и матеріальнаго строенія земной коры. Эта сложная форма называется *геоидомъ*. Ближайшая задача геодезіи заключается въ томъ, чтобы опредѣлить ходъ геоида.

Мы увидимъ далѣе, что въ напряженіи тяжести на земной поверхности существуютъ значительныя неправильности (аномаліи). Если бы земля была однородна или состояла изъ однородныхъ концентрическихъ слоевъ, то напряженіе тяжести увеличивалось бы по извѣстному закону отъ экватора къ полюсамъ; но вдоль параллели это напряженіе должно оставаться безъ измѣненія. Обратимся къ наблюденіямъ. Возьмемъ секундный маятникъ какой-нибудь обсерваторіи. Положимъ, что число качаній, совершаемыхъ этимъ маятникомъ подъ широтой φ, равно N_φ; число его качаній подъ экваторомъ равно N_0, мы знаемъ, что

$$\frac{1}{N_0}=\pi\sqrt{\frac{l}{g_0}};\quad \frac{1}{N_\varphi}=\pi\sqrt{\frac{l}{g_0(1+\alpha \mathrm{Sin}^2\varphi)}}$$

Digitized by Google

$$\frac{N_\varphi{}^2}{N_0{}^2}=1+a\,Sin^2\varphi\,;\qquad \text{откуда}$$

$$N_\varphi{}^2=N_0{}^2+a\,Sin^2\varphi.$$

Въ этомъ уравненіи остается опредѣлить только постоянныя N_0 и a. Для этого произведемъ рядъ наблюденій въ различныхъ широтахъ.

Пусть въ широтѣ φ_1 число колебаній равно N_1,
» » » φ_2 » » » N_2,
» » » φ_3 » » » N_3,
и т. д.

Подставляя каждую пару наблюденій въ нашу формулу, получимъ столько уравненій, сколько сдѣлано наблюденій. Рѣшая эти уравненія по способу наименьшихъ квадратовъ, найдемъ числовыя значенія для N_0 и a. Если N_0 и a найдены, то по формулѣ легко вычислить число колебаній, которое совершаетъ въ сутки нашъ маятникъ въ любой широтѣ. Теперь найдемъ число колебаній, вычисленное по формулѣ для различныхъ точекъ земли, и сравнимъ съ дѣйствительно наблюденнымъ въ этихъ же пунктахъ. Окажется, что дѣйствительное число колебаній въ однихъ пунктахъ выше, въ другихъ—ниже вычисленнаго. Разность между дѣйствительнымъ числомъ колебаній и вычисленнымъ называютъ *пертурбаціей* силы тяжести. Пертурбація эта, какъ оказывается, можетъ быть и *положительной* и *отрицательной*. Положительныя пертурбаціи соотвѣтствуютъ островамъ, лежащимъ посреди открытаго океана; отрицательныя—свойственны материковымъ станціямъ. Явленіе происходитъ такъ, какъ будто на океанахъ сила тяжести больше, а на континентахъ меньше. Наибольшее положительное отклоненіе (+11.0 качаній въ сутки) найдено на островѣ Бонинѣ, лежащемъ въ Тихомъ океанѣ къ востоку отъ Японскихъ острововъ, а наибольшее отрицательное—(—17.7 качаній)—на островѣ Маранамъ у сѣверо-западныхъ береговъ южной Америки. Было предложено нѣсколько гипотезъ для объясненія этой крупной аномаліи. Французскій астрономъ Faye объяснялъ положительную аномалію посреди океановъ тѣмъ, что подъ океанами земная кора должна быть плотнѣе вслѣдствіе того, что на днѣ океановъ господствуютъ низкія температуры до — 1°. Но Lap-

Digitized by Google

parent справедливо замѣчаетъ, что на земной поверхности, въ высокихъ широтахъ, температура на поверхности гораздо ниже—1°, а слѣдовательно, въ этомъ поясѣ должна существовать положительная пертурбація, что однако не подтверждается наблюденіями. Объясненіе, болѣе близкое къ истинѣ, дано Бореніусомъ. Дѣло въ томъ, что всѣ наблюденія надъ качаніями маятника мы приводимъ къ уровню моря, считая, что этотъ уровень, совпадаетъ съ береговымъ уровнемъ ближайшаго моря. Но уровень океана имѣетъ форму геоида, поверхность котораго понижена посреди океана и приподнята у береговъ, при чемъ, поднятіе геоида у береговъ различно въ зависимости отъ рельефа и плотности дна и берега. Приводя наблюденія къ поверхности геоида, мы приводимъ, такимъ образомъ, число качаній къ поверхности, различныя точки которой лежатъ въ разныхъ разстояніяхъ отъ центра земли. Посреди океана, поверхность геоида ниже, чѣмъ посреди материковъ; ясно, что число качаній, приведенное къ этой поверхности, должно дать положительную пертурбацію въ первомъ случаѣ и отрицательную во второмъ. На основаніи нѣкоторыхъ теоретическихъ формулъ, уровень Атлантическаго океана у о. Св. Елены на 1400 метровъ ниже уровня у сѣверозападныхъ береговъ Южной Америки; Шпицбергенъ ниже Лондона на 335 метровъ, Бонинъ ниже Лондона на 1427 метровъ. Но эти числа, повидимому, преувеличены. По вычисленіямъ Helmert'a, поднятіе геоида у береговъ не превышаетъ 200 — 400 метровъ. Эти поднятія уровня не могутъ быть опредѣлены путемъ нивеллировки. При нивеллировкѣ мы пользуемся ватерпасомъ или уровнемъ съ воздушнымъ пузырькомъ. Но уровень опредѣляетъ собою направленіе, нормальное къ направленію равнодѣйствующей. Перемѣщаясь съ этимъ приборомъ въ рукахъ, мы постоянно остаемся на линіи, которая въ каждой точкѣ нормальна къ направленію равнодѣйствующей; короче говоря, мы идемъ по поверхности геоида. По той же приблизительно причинѣ невозможно констатировать поднятіе геоида у береговъ на основаніи измѣреній давленія воздуха. Подъ вліяніемъ притяженія континентовъ, поверхности одинаковаго давленія атмосферы тоже должны подниматься у береговъ и понижаться посреди океановъ.

Итакъ, пертурбаціи силы тяжести, а также погрѣшность въ опредѣленіи сжатія помощью формулы Клеро, дѣйствительно

Digitized by Google

можно частью объяснить уклоненіемъ геоида отъ формы эллипсоида. Но для того, чтобы пертурбаціи силы тяжести, материковыя и океаническія, вполнѣ свести къ формѣ геоида, необходимо допустить, что геоидъ колеблется въ очень большихъ предѣлахъ по вертикальному направленію. Между тѣмъ, по мнѣнію Helmert'a, превышеніе геоида надъ эллипсоидомъ не должно превосходить 400 метровъ, а по Мессершмидту, оно не болѣе 300 футовъ. Съ другой стороны, по мѣрѣ того, какъ увеличивается число наблюденій надъ напряженіемъ тяжести, обнаруживается все болѣе и болѣе, что въ земной корѣ несомнѣнно массы и плотности распредѣлены неравномѣрно, чѣмъ и обусловливаются общія и частныя аномаліи силы тяжести. Эти мѣстныя аномаліи дѣлаютъ еще болѣе сложнымъ видъ геоида. Геоидъ, съ одной стороны, слѣдуетъ за рельефомъ почвы, съ другой, онъ реагируетъ на всякія измѣненія плотности массъ въ земной корѣ. Избытку массъ, вблизи дневной поверхности, соотвѣтствуетъ поднятіе геоида и увеличеніе напряженія тяжести; дефектъ массъ, напротивъ, обнаруживается опусканіемъ геоида и уменьшеніемъ напряженія тяжести.

Такъ какъ форма геоида неправильна и притомъ, до настоящаго времени, далеко еще точно не опредѣлена, то неудобно относить наши измѣренія къ его поверхности. Нужно для этой цѣли имѣть болѣе правильную поверхность. Листингъ предлагаетъ въ основу математической фигуры земли принять поверхность нѣкоего эллипсоида вращенія. Поверхность этого эллипсоида лежитъ частью выше, частью ниже геоида и притомъ такъ, что сумма повышеній геоида надъ эллипсоидомъ равна суммѣ пониженій. Такой эллипсоидъ Листингъ называетъ *типичнымъ* эллипсоидомъ. Постоянныя этого эллипсоида, по Листингу, слѣдующія:

экваторіальный радіусъ	6377365	метровъ
полярный »	6355298	»
разность	22067	
сжатіе	$\frac{1}{289}$	

Мы сказали, что поверхность геоида посреди океана ниже, чѣмъ вблизи берега. Не нужно думать, что уровень водной обо-

Digitized by Google

лочки посреди океановъ вогнутъ. Онъ вездѣ выпуклый. Если бы геоидъ имѣлъ гдѣ-либо вогнутую форму, то на землѣ могли бы существовать мѣста, въ которыхъ сѣверныя точки имѣли бы широту меньшую, чѣмъ южныя, чего нигдѣ еще не наблюдалось. Представимъ себѣ эллипсъ и около его центра опишемъ окружность, радіусъ которой равенъ среднему ариѳметическому, между большой и малой его полуосями. Эллипсъ этотъ будетъ въ четырехъ точкахъ пересѣкать окружность; однако какъ эллипсъ, такъ и окружность остаются вездѣ выпуклыми. Точно также путь луны около солнца обращенъ вездѣ выпуклостью наружу, но у новолуній кривизна этой кривой меньше, чѣмъ у полнолуній.

Средній уровень океана и его колебанія. Если бы на поверхности мірового океана установилось равновѣсіе, то уровень всѣхъ океановъ и сообщающихся съ ними морей составилъ бы одну и ту же непрерывную поверхность геоида. Нивеллировки, произведенныя вдоль материковъ, не обнаружили-бы вовсе разности высотъ. Но такое равновѣсіе океаническихъ водъ не имѣетъ мѣста въ дѣйствительности. На высоту уровня и на его измѣненія вліяютъ многообразные факторы: 1) приливы и отливы вносятъ періодическія повышенія и пониженія уровня; 2) вѣтры даютъ, во-первыхъ, толчекъ къ образованію волнъ и, во-вторыхъ, могутъ нагонять воду къ берегу или, напротивъ того, отгонять ее въ открытое море; 3) испареніе, выпаденіе атмосферическихъ осадковъ и притокъ рѣчныхъ водъ; 4) вращеніе земли около оси стремится отклонить теченія въ сѣверномъ полушаріи вправо, въ южномъ—влѣво отъ первоначальнаго направленія, вслѣдствіе чего, въ сѣверномъ полушаріи у берега, находящагося съ правой стороны теченія должно быть накопленіе водъ, а, слѣдовательно, поднятіе уровня; 5) распредѣленіе давленія или, вѣрнѣе, извѣстное направленіе градіента; если давленіе убываетъ отъ берега къ открытому морю, то высота уровня должна увеличиваться отъ берега къ морю; если же давленіе увеличивается отъ берега къ открытому морю, то происходитъ обратное; 6) измѣненіе солености и повышеніе температуры въ лѣтніе мѣсяцы должно также отражаться соотвѣтствующимъ образомъ на высотѣ водъ.

Конечно, мѣстныя топографическія и орографическія условія (глубина моря, глубокіе заливы, лежащіе по направленію господствующихъ сгонныхъ вѣтровъ и т. п.) могутъ усиливать

Digitized by Google

или ослаблять дѣйствія указанныхъ нами метеорологическихъ условій.

Такъ какъ многія измѣренія, произведенныя на земной поверхности, относятъ къ уровню моря, то необходимо имѣть уровень, независимый отъ временныхъ и случайныхъ измѣненій. Такой исходной точкой можетъ служить *средній уровень моря*. Среднимъ уровнемъ моря называютъ среднее ариѳметическое изъ многолѣтнихъ, систематически веденныхъ, измѣреній. Чѣмъ значительнѣе періодическія и неперіодическія колебанія уровня въ данномъ мѣстѣ, тѣмъ большее число наблюденій должно быть положено въ основу вычисленія средняго уровня. Для измѣренія высоты уровня служатъ футштоки и лимниграфы или мареографы. Простой футштокъ представляетъ линейку, раздѣленную на части и укрѣпленную на берегу въ вертикальномъ положеніи. Ежедневно, въ извѣстные часы, отсчитывается высота воды, считая отъ нуля футштока. Положеніе нуля футштока должно быть опредѣлено, помощью нивеллировки, относительно постоянной черты (реперъ), отмѣченной на стѣнѣ сосѣдняго зданія или на прибрежной скалѣ. Но непосредственные отсчеты по такому футштоку крайне затруднительны, особенно во время волненія. Нужно затушить мелкія колебанія морского уровня. Съ этой цѣлью на берегу устраиваютъ узкій колодецъ, который, при помощи узкой трубки, соединяется съ моремъ. Въ этомъ колодцѣ вода будетъ стремиться стать на уровнѣ моря; вслѣдствіе тренія, всѣ мелкія колебанія будутъ сгущены и задержаны, и уровень воды въ колодцѣ будетъ слѣдовать лишь за болѣе крупными колебаніями уровня моря. На поверхности воды въ колодцѣ находится поплавокъ, къ которому прикрѣплена нить, перекинутая черезъ блокъ; на концѣ нити находится индексъ, движущійся передъ линейкой раздѣленной на части. Этотъ футштокъ можно обратить въ мареографъ, и тогда онъ будетъ записывать свои колебанія на вращающемся барабанѣ [1]).

Интересно сравнить среднюю высоту уровня различныхъ морей, омывающихъ наши материки. Мы видѣли, что средній уровень имѣетъ весьма значительныя, неперіодическія, колебанія; для опредѣленія *точной* его высоты нужно имѣть весьма про-

---

[1]) Подробности см. сочиненіе Шпиндлера. Лекціи по физической географіи. Спб. 1903, стр. 351.

Digitized by Google

должительный періодъ наблюденій. Въ виду этого, нельзя расчитывать на одинаковость средняго уровня въ разныхъ пунктахъ. Но по мѣрѣ того, какъ совершенствуются методы нивеллированія, стали получаться все болѣе и болѣе согласныя числа. Приводимъ здѣсь таблицу Леллемана, показывающую отклоненія среднихъ уровней относительно нуля Марселя.

Адріатическое море	Тріестъ	+0.02	метра
	Венеція	—0.05	»
	Порто-Корсини . .	—0.04	»
	Анкона	—0.08	»
Средиземное море	Генуя	—0.05	»
	Савона	—0.02	»
	Ницца	—0.06	»
	Марсель	0.00	»
	Сеттъ	+0.03	»
	Портъ-Валютъ . .	+0.07	»
Атлантическій океанъ	С. Жуанъ де Люцъ	+0.25	»
	Брестъ	+0.07	»
	Шербургъ . . .	+0.09	»
Нѣмецкое море	Амстердамъ . .	—0.01	»
	Куксгафенъ . . .	—0.03	»
Балтійское море	Травемюнде . .	—0.09	»
	Варнемюнде . .	—0.04	»
	Свинемюнде . .	—0.02	»

Если исключить С. Жуанъ какъ сомнительный пунктъ, то крайнія колебанія будутъ +0.09 и —0.09, т. е наибольшая разность составляетъ 0.18 метра (18 сантиметровъ), что слѣдуетъ отнести на счетъ неперіодическихъ колебаній.

Но, кромѣ правильныхъ и неправильныхъ колебаній уровня краткаго періода, вѣроятны еще колебанія многолѣтнія и вѣковыя. Такъ, Brückner, изслѣдуя колебанія климатовъ съ 1700 года, пришелъ къ заключенію о существованіи 35-лѣтнихъ періодовъ въ измѣненіяхъ атмосферныхъ осадковъ, а также въ колебаніяхъ уровня рѣкъ, озеръ и внутреннихъ морей. Но эта гипотеза недостаточно обоснована эмпирически и, тѣмъ менѣе, теоретически.

Нельзя, въ заключеніе, не указать на *вѣковыя* колебанія берегового уровня, замѣченныя во многихъ мѣстностяхъ земного

Digitized by Google

шара. Давно уже замѣчено, что нѣкоторые берега находятся въ настоящее время въ стадіи поднятія, другіе въ періодѣ опусканія. Составлены даже карты этихъ вѣковыхъ колебаній или, какъ ихъ называетъ проф. Броуновъ, *положительныхъ* (внутрь страны) и *отрицательныхъ* (къ морю) перемѣщеній береговой линіи. Изъ этихъ картъ видно, что *отрицательное* перемѣщеніе береговой линіи имѣетъ мѣсто на берегахъ Скандинавскаго полуострова за исключеніемъ юго-восточной части, на всемъ восточномъ берегу Балтійскаго моря, на берегахъ Великобританіи, Чернаго моря и пр. *Положительное* перемѣщеніе наблюдаютъ на юго-восточномъ берегу Швеціи, на берегахъ Ютландіи, Голландіи, Кореи, на сѣверномъ берегу Новой Голландіи и др.

Нѣкоторые ученые приписываютъ эти измѣненія медленному положительному или отрицательному движенію суши по вертикальному направленію подъ вліяніемъ внутреннихъ геодинамическихъ силъ, работа которыхъ не прекратилась и до настоящаго времени. Другіе усматриваютъ причину этихъ колебаній въ періодическомъ чередованіи наступаній (трансгрессій) и отступаній моря подъ вліяніемъ общихъ условій (напримѣръ, прецессіи, перемѣщенія центра тяжести земли вслѣдствіе перераспредѣленія массъ внутри и пр.). Подобныя общія причины могутъ вызвать перемѣщенія водъ изъ одного полушарія въ другое или изъ одной океанической впадины въ другую. Но, съ точки зрѣнія *общихъ* причинъ, перемѣщенія эти должны быть одноименны на значительной части суши. Между тѣмъ, въ районѣ одного и того же моря, отдѣльныя части берега не находятся въ одной и той же фазѣ своего колебанія и поднимаются или опускаются далеко не съ одинаковой скоростью. Напримѣръ, въ Балтійскомъ морѣ, берегъ Швеціи, начиная отъ Торнео, поднимается (у Торнео — на 48 дюймовъ въ 100 лѣтъ); около 60° с. ш. это поднятіе прекращается и южнѣе прибережье даже опускается. Поднятіе суши констатировано и въ Финляндіи въ размѣрѣ отъ 11 до 36 дюймовъ въ 100 лѣтъ, различное въ разныхъ пунктахъ (наибольшее въ Тверемине — $36^1/_4$ дюйма). По изслѣдованіямъ Борнсдорфа, юго-западный берегъ Финляндіи подымается на 22 дюйма въ 100 лѣтъ. Такое *неравномѣрное* измѣненіе положенія береговой линіи, на небольшомъ пространствѣ Балтійскаго моря, едва ли возможно объяснить повышеніемъ уровня вслѣдствіе *общихъ* причинъ. Вѣроятнѣе, эти колебанія

Digitized by Google

являются результатомъ дѣятельности внутреннихъ силъ. Геологическія изысканія давно уже показали, что кора земли претерпѣвала колебанія, что нѣкоторыя части суши, выдвинутыя нынѣ выше уровня океановъ, были когда-то покрыты водою. Интенсивность этихъ процессовъ теперь ослабѣла; но и нынѣ продолжающаяся вулканическая дѣятельность указываетъ на то, что работа геодинамическихъ силъ не затухла вполнѣ въ переживаемую нами геологическую эпоху. Къ этой же категоріи явленій слѣдуетъ отнести и вѣковыя колебанія материковъ. Но *неравномѣрное* наступаніе моря, которое обнаружено, напримѣръ, на небольшомъ протяженіи Балтійскаго моря, можно объяснить также *мѣстными* причинами. Дѣйствительно, представимъ себѣ, что Финляндія, какъ это было въ ледниковый періодъ, покрыта мощнымъ ледянымъ покровомъ. Это временное нагроможденіе материка должно вызвать измѣненіе формы геоида въ прилежащей части моря; поднятіе водъ у берега увеличится и оставитъ извѣстные слѣды трансгрессіи на береговыхъ уступахъ. По мѣрѣ таянія ледяного покрова, береговой уровень будетъ отходить. Такое же измѣненіе формы геоида, а, слѣдовательно, положительное перемѣщеніе береговой линіи, можетъ вызвать накопленіе на поверхности вулканическихъ продуктовъ, образованіе новыхъ горъ и даже дюнъ, нарастаніе коралловыхъ построекъ. Обратное дѣйствіе, т. е. отрицательное перемѣщеніе береговой линіи, можетъ произойти при таяніи ледяного покрова, размывѣ и вывѣтриваніи берега и перенесеніи на новое мѣсто продуктовъ этого процесса. Наконецъ, возможно также перераспредѣленіе массъ въ толщѣ земной коры, напримѣръ, вымываніе огромныхъ подземныхъ пустотъ, осѣданіе слоевъ и т. под. Такимъ образомъ, колебаніе береговой линіи слѣдуетъ разсматривать, какъ процессъ сложный, зависящій или отъ дѣйствительнаго перемѣщенія отдѣльныхъ частей коры по вертикальному направленію, или отъ дѣйствительнаго перемѣщенія берегового уровня, обусловленнаго измѣненіемъ формы геоида. Но это измѣненіе геоида, въ свою очередь, сводится къ перемѣщенію массъ и вызвано денудаціонными и эрозіонными процессами въ широкомъ смыслѣ этого слова. Возможны, наконецъ, и періодическія трансгрессіи, зависящія отъ основныхъ чертъ астрономическаго движенія земли (прецессія и нутація въ связи съ измѣненіемъ эксцентриситета земной орбиты).

Digitized by Google

Напряженіе тяжести на земной поверхности. Взаимное притяженіе, которое обнаруживается между отдѣльными массами, входящими въ составъ земного шара, есть частный случай тяготѣнія вообще, и потому управляется законами Ньютона. Если m и m_1—двѣ массы, r—разстояніе ихъ раздѣляющее, то величина взаимнаго притяженія, по закону Ньютона

$$f=C\frac{mm_1}{r^2}, \qquad (1)$$

т. е. притяженіе прямо пропорціонально произведенію притягивающихся массъ и обратно пропорціонально квадрату ихъ разстоянія. Численное значеніе коэффиціента C зависитъ отъ выбора единицъ, которыми мы измѣряемъ величины, входящія въ формулу (1). Изъ уравненія (1) видно, что если

$$\left.\begin{matrix} m=m_1=1 \\ r=1 \end{matrix}\right\}, \text{ то } f=C,$$

т. е. коэффиціентъ C выражаетъ численное значеніе силы, съ которою притягиваются *двѣ единицы* массы на разстояніи равномъ *единицѣ*.

Возобновимъ въ памяти нашей нѣкоторыя основныя теоремы о притяженіи. Возьмемъ однородный шаровой слой, весьма малой толщины c, плотности δ и радіуса R; масса его

$$M=4\pi R^2 c\delta. \qquad (2)$$

Если внутри этого слоя, въ какой-нибудь точкѣ A, находится масса m, то дѣйствіе шарового слоя на эту массу

$$F_1=0,$$

т. е. тонкій шаровой слой не производитъ никакого дѣйствія на точку, лежащую внутри его.

Дѣйствіе же этого слоя на точку, лежащую внѣ на разстояніи x отъ центра слоя

$$F_{II}=\frac{Mm}{x^2}, \qquad (3)$$

т. е. дѣйствіе шарового слоя на точку, лежащую внѣ его, таково, какъ будто вся масса сосредоточена въ центрѣ. Сплошной одно-

Digitized by Google

родный шаръ можно раздѣлить на концентрическіе слои, а потому, дѣйствіе на внѣшнюю точку будетъ такое же, какъ если бы вся масса была сосредоточена въ его центрѣ, т. е.

$$F_{III}=\frac{Mm}{x^2}=\frac{4}{3}\frac{\pi R^3\delta m}{x^2}. \qquad (4)$$

Если масса m находится на поверхности шара, то $x=R$ и

$$F_{IV}=\frac{4}{3}\pi R\delta m. \qquad (5)$$

Положимъ далѣе, что масса m находится внутри шара на разстояніи $x<R$ отъ его центра. Проведемъ шаровую поверхность, центръ которой совпадаетъ съ центромъ шара, а радіусъ равенъ x. Тогда весь шаръ раздѣлится на двѣ части: одна часть, для которой точка m будетъ находиться внутри, а потому, дѣйствіе на нее этой части шара равно нулю; остается другая часть нашего шара, для которой масса m находится на поверхности; эта часть притягиваетъ съ силой

$$F_V=-\frac{4}{3}\pi\delta xm. \qquad (6)$$

Знакъ — поставленъ потому, что x считается положительнымъ отъ центра шара къ точкѣ m; здѣсь же нужно показать, что притяженіе направлено къ центру шара. Такимъ образомъ, притяженіе сплошного шара на внутреннюю точку пропорціонально ея разстоянію отъ центра шара и направлено къ центру. Отсюда видно, что если бы масса m могла двигаться въ весьма узкомъ каналѣ, проходящемъ черезъ центръ однороднаго шара, находясь подъ дѣйствіемъ только притяженія этого послѣдняго, то она совершала бы гармоническое колебательное движеніе[1]).

Всѣ эти теоремы, въ первомъ приближеніи, можно примѣнить къ земному шару. Если допустимъ, что земля есть шаръ однородный или состоящій изъ однородныхъ концентрическихъ слоевъ, то

$$M=\frac{4}{3}\pi R^3\delta,$$

[1]) Элементарное доказательство всѣхъ этихъ теоремъ, см. Хвольсонъ, «Курсъ физики» ч. I, стр. 178—194.

Digitized by Google

гдѣ R—радіусъ земли, а

δ—средняя ея плотность.

Сила f, съ которой земля притягиваетъ массу m, находящуюся на земной поверхности

$$f=C\frac{Mm}{R^2}. \qquad (7)$$

Ускореніе, сообщаемое этой силой, будетъ

$$g=\frac{f}{m}=C\frac{M}{R^2}. \qquad (8)$$

Изъ этой формулы видно, что подъ вліяніемъ земного притяженія, всѣ тѣла, находясь въ одинаковыхъ отъ центра земли разстояніяхъ, пріобрѣтаютъ одинаковыя ускоренія; другими словами, ускореніе не зависитъ отъ состава притягиваемаго тѣла. Если мы въ уравненіи (7) положимъ $m=1$, то

$$f=C\frac{M}{R^2} \qquad (9)$$

Сравнивая уравненія (8) и (9), видимъ, что f по величинѣ совпадаетъ съ g, т. е. ускореніе, сообщаемое свободно падающему тѣлу, можетъ служить мѣрою напряженія силы тяжести. Прямая, по которой двигается свободно падающее тѣло, вездѣ будетъ направлено къ центру земли. Но въ дѣйствительности, какъ величина, такъ и направленіе тяжести претерпѣваютъ значительныя измѣненія. При суточномъ вращеніи земли около оси, въ каждой точкѣ ея развивается центробѣжная сила, стремящаяся удалить точку отъ оси вращенія. Ускореніе f_1, сообщаемое центробѣжной силой,

$$f_1=\frac{4\pi^2 x}{T^2},$$

гдѣ x—радіусъ, по которому происходитъ вращеніе, а T—время полнаго обращенія земли около оси. Если наша точка находится подъ широтой φ, то

Digitized by Google

$$x = R\cos\varphi \qquad \text{и}$$

$$f_1 = \frac{4\pi^2 R\cos\varphi}{T^2} = \omega^2 R\cos\varphi.$$

Часть этой силы дѣйствуетъ прямо противоположно притяженію земного шара. Эта часть

$$f_{II} = \frac{4\pi^2 R\cos^2\varphi}{T^2}.$$

На экваторѣ, гдѣ $\varphi = 0$,

$$F_{II} = \frac{4\pi^2 R}{T^2}.$$

На полюсѣ $\varphi = 90^0$ и $F_{III} = 0$, а, слѣдовательно, напряженіе тяжести, какъ результатъ совмѣстнаго дѣйствія притяженія и центробѣжной силы, имѣетъ наименьшую величину на экваторѣ и постепенно увеличивается къ полюсамъ. Центробѣжная сила на экваторѣ составляетъ 0.00346 напряженія тяжести. Если величину центробѣжной силы на экваторѣ принять за единицу, то напряженіе этой силы въ другихъ широтахъ выразится слѣдующими числами:

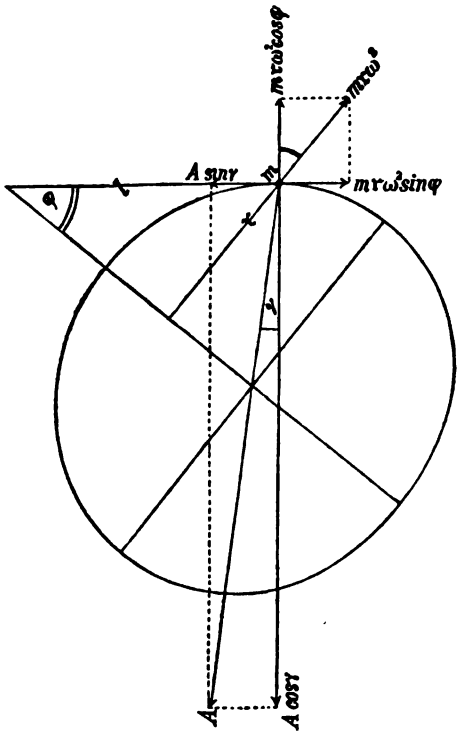
0^0	1.000	50	0.415
10	0.170	60	0.251
20	0.883	70	0.128
30	0.750	80	0.030
40	0.588	90	0.000

Поверхность земли, во второмъ приближеніи, разсматриваютъ какъ поверхность эллипсоида вращенія. Разныя точки этой поверхности неодинаково удалены отъ центра, а потому, напряженіе тяжести видоизмѣняется также нѣсколько и фигурой земли. Окончательную величину равнодѣйствующей силы тяжести и центробѣжной силы на единицу массы, называютъ *полнымъ напряженіемъ земной тяжести*, а направленіе ея — *отвѣсной* или *вертикальной* линіей. Выразимъ эту силу аналитически въ зависимости отъ широты мѣста. Представимъ себѣ (фиг. 23)

Digitized by Google

массу m, суточное вращеніе которой происходитъ по кругу радіуса r. Центробѣжная сила

$$f=mr\omega^2,$$



Фиг. 23.

гдѣ ω — угловая скорость вращенія земли. Разложимъ эту силу на двѣ: перпендикулярно и параллельно горизонту; первая изъ нихъ выразится приблизительно

$$f'=m\omega^2 R\cos^2\varphi,$$

гдѣ φ — широта мѣста. Силу тяжести A также разложимъ на двѣ: перпендикулярно и параллельно горизонту; первая изъ нихъ

$$F'=A\cos\gamma.$$

Такъ какъ сила F' и f' прямо противоположны, то дѣйствительное напряженіе тяжести въ точкѣ m будетъ

$$G_\varphi=\frac{A\cos\gamma}{m}-R\omega^2\cos^2\varphi$$

или
$$G_\varphi=\left(\frac{A\cos\gamma}{m}-R\omega^2\right)+R\omega^2\sin^2\varphi.$$

Но существуетъ и другое выраженіе для силы тяжести (см. стр. 40)

$$G_\varphi=G_0+(G_{90}-G_0)\sin^2\varphi,$$

гдѣ G_{90} — напряженіе тяжести на полюсѣ,
» G_0 — » » » экваторѣ.

Digitized by Google

Съ другой стороны, эмпирически, изъ наблюденій надъ качаніями маятника, найдено:

$$G_\varphi = 9.781 + 0.051\ Sin^2\varphi$$

или $$G_\varphi = 9.781 + \frac{0.051}{2} - \frac{0.051}{2} Cos 2\varphi,$$

но $$9.781 + \frac{0.051}{2} = 9.8065 = G_{45},$$

слѣд., $$G_\varphi = G_{45} - 0.0255\ Cos 2\varphi$$

или $$G_\varphi = G_{45}(1 - 0.0026\ Cos 2\varphi).$$

Въ Annuaire du Bureau des longitudes на 1906 годъ дана слѣдующая формула для ускоренія силы тяжести:

$$g = 9^м.806059 - 0^м.025028\ Cos 2\varphi,$$

откуда получается слѣдующая табличка:

Широта	Ускореніе	Широта	Ускореніе
0°	9м.78103	50	9м.81041
10	9 .78254	60	9 .81857
20	9 .78688	70	9 .82523
30	9 .79355	80	9 .82958
40	9 .80171	90	9 .83109

Въ Одессѣ (46° 29′ с. ш.) $g = 9.8074$.

Изъ этой таблицы видно, что, при переходѣ отъ экватора къ полюсу, напряженіе тяжести увеличивается на 0.51%, а слѣдовательно, вѣсъ одного килограмма возрастаетъ на 5.1 грамма.

Измѣненіе напряженія тяжести съ высотою мѣста наблюденія. Напряженіе тяжести мѣняется также съ высотою мѣста наблюденія надъ уровнемъ моря, а именно:

$$\frac{G_h}{G_0} = \frac{R^2}{(R+h)^2} = \frac{1}{\left(1+\frac{h}{R}\right)^2} = \frac{1}{1+2\frac{h}{R}} = 1 - 2\frac{h}{R}$$

Digitized by Google

или $$G_h = G_0 \left(1 - 2\frac{h}{R}\right).$$

Если h выражено въ сантиметрахъ, то

$$G_h = G_0 (1 - 0.00000000314\, h)$$

или $$G_h = G_0 - 0.000003\, h.$$

Поднятію на высоту h=100 метр.=10000 сант. соотвѣтствуетъ уменьшеніе G_0 на 0.03 сантим.=0.3 мм. Высота Эйфелевой башни равна 300 м. (30000 сантим.); слѣдовательно, $G_h - G_0$=0.9 миллиметра. Опыты, произведенные въ Шарлоттенбургѣ, показали, что вѣсъ 1 килограмма уменьшается на 0.295 миллигр. при поднятіи на 1 метръ. Broch далъ общую формулу для широты φ и высоты h:

$$G_\varphi = 9.80665\,(1 - 0.00259\, Cos 2\varphi)\,(1 - 0.00000000314\, h)$$

или $$G_\varphi = 9.80665 - 0.02539\, Cos 2\varphi - 0\,000000003\, h.$$

По Helmert'y

$$G_\varphi = 9.8060 - 0.0260\, Cos 2\varphi - 0.00000308\, h.$$

Иная формула получается въ томъ случаѣ, если точка, находящаяся на высотѣ h, взята посреди возвышеннаго плоскогорія. Въ этомъ случаѣ, для приведенія тяжести къ уровню моря, нужно принять во вниманіе притяженіе массъ, образующихъ наше плоскогоріе. Если g_0—напряженіе тяжести на уровнѣ моря, а g_h—напряженіе на высотѣ h, то [1])

$$\frac{g_h}{g_0} = \left(1 - \frac{2h}{R}\right)\left(1 + \frac{3}{4}\frac{h}{R}\right) = \left(1 - \frac{5}{4}\frac{h}{R}\right).$$

Въ связи съ напряженіемъ тяжести находится длина секуднаго маятника. Въ Annuaire du Bureau des longitudes на 1906 годъ для длины секуднаго маятника дана формула:

$$l = 0^{m}.993563 - 0.002536\, Cos 2\varphi.$$

---

[1]) Доказательство см. Arrhenius. Lehrbuch der kosmischen Physik. Bd. I, S. 254.

Digitized by Google

По этой формулѣ получаются слѣдующія числа:

Широта	l	Широта	l
0°	0м.99103	50	0м.99400
10	0 .99118	60	0 .99483
20	0 .99161	70	0 .99550
30	0 .99229	80	0 .99595
40	0 .99312	90	0 .99610

Въ Одессѣ (46° 29′ с. ш.) l=0.99369 метра. Болѣе общая формула имѣетъ видъ:

$$l=0.990918-0.00236\,Cos2\varphi-0.0000003\,h.$$

Въ слѣдующей таблицѣ дано число колебаній одного и того же маятника, совершающаго на экваторѣ одно качаніе въ одну секунду звѣзднаго времени.

0°	86400	50	86544
10	407	60	584
20	429	70	617
30	461	80	638
40	507	90	645

Тяжесть на глубинѣ. Законъ измѣненія напряженія тяжести съ глубиною зависитъ отъ закона распредѣленія плотности въ массѣ земли. Если допустимъ, какъ это дѣлаетъ Roche, что плотность d выражается формулой вида:

$$d=d_0-ar^2,$$

гдѣ d_0—плотность въ центрѣ земли,
» a —нѣкоторый численный коэффиціентъ,
» r —разстояніе точки отъ центра земли,

то $$g'=1.92\frac{r}{R}\left(1-\frac{12r^2}{25R^2}\right)g.$$

Изъ этой формулы видно, что напряженіе тяжести g' отъ поверх-

Digitized by Google

ности земли постепенно увеличивается; на глубинѣ $\frac{5}{6}R$ оно достигаетъ максимума

$$g' = \frac{16}{15} g$$

и затѣмъ уменьшается до нуля при $r=0$. Но если въ основу формулы принять другой законъ увеличенія плотности, напримѣръ,

$$d = d_0 - \alpha r,$$

то тогда максимумъ напряженія тяжести ($g' = 1.055\, g$) долженъ находиться на глубинѣ $r = 0.186R$ отъ поверхности. И дѣйствительно, въ угольныхъ копяхъ Корнваллиса замѣтили, что, на глубинѣ 383 метровъ, часы уходятъ впередъ на 2″.25 въ сутки. Sterneck въ Прибрамѣ нашелъ слѣдующее ускореніе хода часовъ:

на глубинѣ	250	метровъ . . .	1″.43,
» »	500	» . . .	1 .96,
» »	750	» . . .	2 .95,
» »	1000	» . . .	3 .88.

Напряженіе тяжести въ Фрейбургѣ:

на поверхности земли . . .	1.0000000,
» глубинѣ 534 метровъ . .	1.0000793.

Въ Прибрамѣ:

на поверхности земли . . .	1.0000000,
» глубинѣ 973 метровъ . .	1.0000904.

Sterneck даетъ слѣдующую общую формулу для ускоренія силы тяжести g_x на глубинѣ x, считая отъ центра земли:

$$g_x = 2.6950x - 1.8087x^2 + 0.1180x^3.$$

На этомъ основаніи, ускореніе тяжести на различныхъ глубинахъ будетъ слѣдующее:

	Ускореніе тяжести.	
Глубина.	Sterneck	Lipschitz
1.0	1.000	1.00
0.9	1.097	1.04

Digitized by Google

Глубина.	Ускореніе тяжести. Sterneck	Lipschitz
0.8	1.059	1.03
0.7	1.041	0.98
0.6	0.991	0.89
0.5	0.910	0.78
0.4	0.796	0.65
0.3	0.694	0.50
0.2	0.468	0.34
0.1	0.252	0.17
0.0	0.000	0.00

Напряженіе тяжести на поверхности планетъ можно вычислить по формулѣ

$$G=\frac{M}{R^2}$$

гдѣ M—масса, а R—радіусъ планеты, принимая массу и радіусъ земли за единицу. Для солнца,

$$G=\frac{324439}{(108.558)^2}=27.625,$$

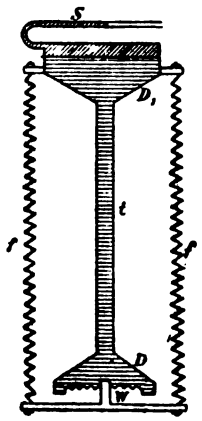
т. е. тѣло, вѣсящее на поверхности земли килограммъ, на поверхности солнца вѣситъ 27.625 килограмма. Точно также найдемъ напряженіе тяжести на поверхности другихъ планетъ:

Меркурій . .	0.439	Сатурнъ . .	0.892
Венера . . .	0.802	Уранъ . . .	0.754
Земля . . .	1.000	Нептунъ . .	1.142
Марсъ . . .	0.376	Солнце . . .	27.625
Юпитеръ . .	2.261	Луна	0.168

Аномаліи въ распредѣленіи тяжести. До сихъ поръ мы предполагали, что земля представляетъ однородный шаръ или состоитъ изъ однородныхъ концентрическихъ слоевъ. Въ этомъ случаѣ, напряженіе тяжести вдоль одной и той же параллели остается постояннымъ. Но земля неоднородна. Въ простѣйшемъ случаѣ можно допустить, что часть какой-нибудь параллели покрыта слоемъ воды извѣстной мощности (океанъ), а остальная часть состоитъ изъ горныхъ породъ (суша), плотность которыхъ

Digitized by Google

въ 2.5—2.6 раза больше плотности воды. Нетрудно показать, что, въ этомъ случаѣ, напряженіе тяжести должно уменьшаться при переходѣ съ суши на океанъ. И дѣйствительно, притяженіе, обнаруживаемое всей массой земли, равно суммѣ притяженій всѣхъ отдѣльныхъ ея частей, вмѣстѣ взятыхъ; но если мы находимся посреди суши, то *ближайшая* къ намъ часть земли, оказывающая наиболѣе сильное притяженіе, состоитъ изъ болѣе плотной массы; если же мы, двигаясь вдоль той же параллели, перейдемъ на океанъ, то *ближайшая* къ намъ часть представляетъ менѣе плотную массу. Очевидно далѣе, что уменьшеніе напряженія тяжести, при переходѣ съ суши на океанъ, будетъ тѣмъ значительнѣе, чѣмъ большей мощностью обладаетъ этотъ океанъ; другими словами, уменьшеніе тяжести должно находиться въ извѣстной прямой зависимости отъ глубины океана. Эту зависимость можно опредѣлить теоретически при нѣкоторыхъ простѣйшихъ допущеніяхъ (см. дополненія). Исходя изъ изложеннаго принципа, Siemens устроилъ особый батометръ для измѣренія океаническихъ глубинъ. Устройство его, въ общихъ чертахъ, слѣдующее (фиг. 24). Въ стальномъ цилиндрѣ DD_1, дно котораго состоитъ изъ эластичной пластинки, упирающейся на двѣ перекрестныя, тоже стальныя, полоски центръ тяжести дна приходится какъ разъ на пересѣченіи полосокъ *W*. Послѣднія подвѣшены помощью пружинъ *ff*. Упругость этихъ пружинъ разсчитана такъ, что если приборъ находится на материкѣ, то ртуть доходитъ, въ калиброванной трубкѣ *S*, до извѣстнаго дѣленія. Съ переходомъ на океанъ, вѣсъ ртути уменьшается, а потому пружины *ff* приподнимаютъ дно и ртуть въ узкой трубкѣ перемѣщается на нѣкоторое число дѣленій (на нашемъ чертежѣ вправо). Остается только проградуировать трубку, т. е. опредѣлить, какому измѣненію глубины соотвѣтствуетъ перемѣщеніе ртути въ трубкѣ на одно дѣленіе. Но такъ какъ съ измѣненіемъ температуры и съ теченіемъ времени упругость пружинъ *ff* мѣняется, то необходимо, время отъ времени, повторять это градуированіе.



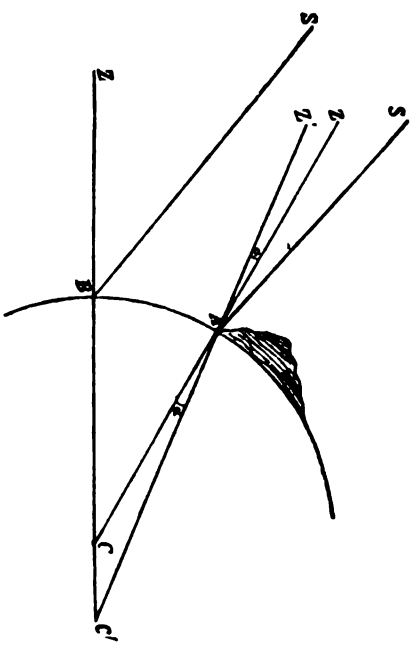
Фиг. 24.

Digitized by Google

Въ дѣйствительности, земной шаръ представляетъ болѣе значительное разнообразіе въ своемъ строеніи. Естественно ожидать, поэтому, и болѣе значительныхъ *аномалій* въ распредѣленіи тяжести. Съ другой стороны, на поверхности земли, а также внутри ея, происходятъ постоянныя перемѣщенія матеріальныхъ массъ, причины которыхъ могутъ быть весьма многообразны: приливы и отливы, скопленіе водъ у извѣстныхъ береговъ дѣйствіемъ вѣтровъ, процессы денудаціи и эрозіи, неравномѣрное распредѣленіе давленія воздуха, вулканическая и сейсмическая дѣятельность, измѣненія въ притяженіи луны и солнца и т. д. Всѣ эти причины могутъ вызвать, періодическія или непериодическія, измѣненія во времени, т. е. своего рода *варіаціи* въ напряженіи тяжести, аналогичныя варіаціямъ земного магнетизма. Понятіе о напряженіи тяжести слагается изъ двухъ элементовъ: а) направленіе тяжести и б) величина или напряженіе тяжести. Разсмотримъ каждый изъ этихъ элементовъ отдѣльно. Направленіе отвѣсной линіи, при переходѣ отъ одной точки земной поверхности къ другой, должно измѣняться въ той постепенности, въ которой слѣдуютъ направленія нормалей на сфероидѣ. Но, производя на поверхности земли одновременно астрономическія и геодезическія измѣренія и относя ихъ къ поверхности сфероида, мы наталкиваемся на уклоненія, на аномаліи. Направленія отвѣсной линіи въ нѣкоторыхъ точкахъ земли не совпадаютъ съ тѣми, которыхъ можно ожидать теоретически, допуская, что мы идемъ по поверхности сфероида. Эти аномаліи въ положеніи отвѣсной линіи называются *отклоненіями отвѣса*. Во Владикавказѣ, напримѣръ, отвѣсная линія отклонена къ югу на 36″.7, а въ Дюшетѣ (южный склонъ) она отклонена къ сѣверу на 18″.29. На южной сторонѣ Гаваи отвѣсъ отклоненъ къ сѣверу на 67″.0, а на сѣверной сторонѣ на 30″.0 къ югу. Въ Батумѣ отвѣсъ отклоненъ на 39″.25 по долготѣ и на 16″.82 по широтѣ. Въ Ялтѣ это отклоненіе соотвѣтственно равно 27″.3 и 29″.3. Въ Севастополѣ отклоненіе по долготѣ составляетъ 20″.5. Альпы въ Женевѣ отклоняютъ на 6″ къ югу и на 9″ къ востоку, а въ Цюрихѣ—на 12″ къ югу и 10″ къ востоку. Въ Южной Америкѣ, около Каллао, отклоненіе достигаетъ 138″.0. Отклоненія отвѣсной линіи, по своей величинѣ, не могутъ быть приписаны случайнымъ погрѣшностямъ наблюденій. Слѣдовательно, мы имѣемъ здѣсь дѣло съ дѣйствительными ано-

Digitized by Google

маліями. Расширяя далѣе наши изслѣдованія, мы замѣчаемъ, что аномаліи эти распредѣлены не изолированно и не случайно; онѣ охватываютъ цѣлые районы; напримѣръ, на сѣверныхъ склонахъ Кавказа отклоненіе отвѣса начинается на разстояніи не менѣе 250 верстъ отъ оси главнаго хребта; на разстояніи 150 верстъ отклоненіе уже равно 9″.77; отвѣсная линія отклонена вдоль всего западнаго берега Америки и т. д. Очевидно, что эти аномаліи связаны съ ходомъ рельефа, а, слѣдовательно, съ тѣми законами, по которымъ распредѣлены массы на земной поверхности. Вблизи горъ и возвышенныхъ береговъ является сила, направленная въ сторону притягивающихъ массъ и, слѣдовательно, отклоняющая отвѣсъ. Представимъ себѣ гору, масса которой m сосредоточена въ центрѣ тяжести этой возвышенности. Пусть ZA (фиг. 25) нормальное положеніе отвѣса. Очевидно, что на тяжелую точку отвѣса A, массу которой пріймемъ за единицу, дѣйствуютъ двѣ силы: а) притяженіе всей земли (f) и б) притяженіе горы (f'). Но



Фиг. 25.

$$f=\frac{M\ (\text{масса земли})}{R^2}$$

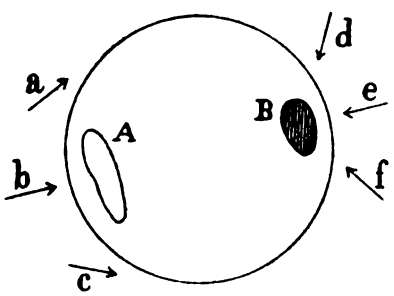
$$f'=\frac{m}{r^2},$$

гдѣ R — радіусъ земли, а r — разстояніе точки A отъ центра тяжести горы. Подъ дѣйствіемъ этихъ двухъ силъ отвѣсъ пріметъ положеніе $Z'A$. Полагая, что уголъ отклоненія отвѣса $ZAZ'=\alpha$, получимъ:

$$tang\alpha=f':f=\frac{m}{r^2}:\frac{M}{R^2}=\frac{m}{\frac{4}{3}\pi RDr^2},$$

Digitized by Google

гдѣ D—средняя плотность земли. Обратно, зная α и r, можно изъ этого уравненія опредѣлить D, т. е. среднюю плотность земли. Этимъ именно методомъ Maskelyn (въ 1775 году), на основаніи измѣреній, произведенныхъ вблизи горы Shehalien въ Шотландіи, нашелъ $D=4.8$. Но очевидно, что подобное неравномѣрное распредѣленіе массъ возможно также и внутри земли: въ однѣхъ мѣстахъ возможенъ избытокъ, въ другихъ—дефектъ массъ. Направленіе отвѣса должно несомнѣнно реагировать на это скрытое отъ нашихъ глазъ подземное строеніе. Если въ земной корѣ, на нѣкоторой глубинѣ, находится полость B, наполненная болѣе плотной массой, то отвѣсъ пріиметъ вблизи этой полости положеніе d, e или f. Обратно, если въ A будетъ существовать пустота или менѣе плотныя массы (дефектъ массъ), то положенія отвѣса выразятся стрѣлками a, b или c, т. е. явленіе будетъ происходить такъ, какъ будто онъ отталкивается массой A. И дѣйствительно, давно уже извѣстно, что въ сѣверной Индіи отклоненіе отвѣса далеко не соотвѣтствуетъ массивамъ Гималаевъ и явленіе происходитъ такъ, какъ будто подъ горнымъ хребтомъ — недостатокъ массъ, пустоты или пласты уменьшенной плотности. Подобное же явленіе наблюдается въ Ниццѣ. Въ Пизѣ и Флоренціи отвѣсъ даже какъ бы отталкивается Аппенинами; въ Мадрасѣ онъ отклоненъ къ морю. Напротивъ того, Крымскія горы отклоняютъ отвѣсъ въ размѣрѣ, далеко превышающемъ ихъ массу; такъ, отклоненіе отвѣса равно:



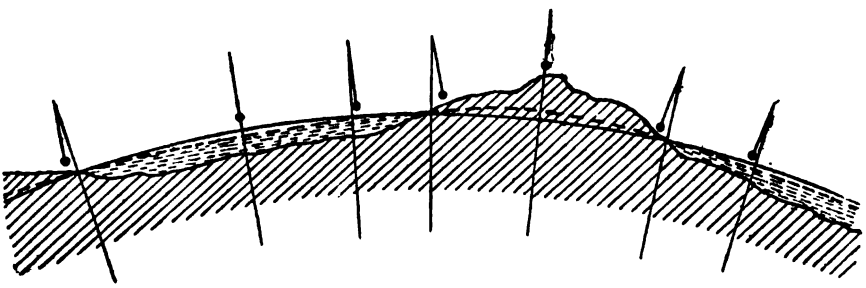
Фиг. 26.

въ Алупкѣ	35″.4,
» Ялтѣ	27″.3,
» Балаклавѣ . . .	12″.5,

т. е. явленіе происходитъ такъ, какъ будто подъ Крымскими горами существуетъ избытокъ массъ. Аномаліи въ положеніи отвѣса возможны даже посреди равнинной мѣстности, вдали отъ значительныхъ горъ и береговъ. Напримѣръ, въ Москвѣ отвѣсъ

Digitized by Google

отклоненъ къ сѣверу на 10″.6. Если итти въ юго-востоку отъ Москвы, то уклоненіе уменьшается, достигаетъ нуля въ Царицынѣ (нейтральная зона) и переходитъ даже въ южное, въ Подольскѣ 12″.7. Подобное же отклоненіе найдено около Берлина. Изъ сдѣланнаго краткаго обозрѣнія мѣстныхъ аномалій видно, какъ велика должна быть сложность той поверхности, которая названа геоидомъ. На фигурѣ 27 схематически представленъ



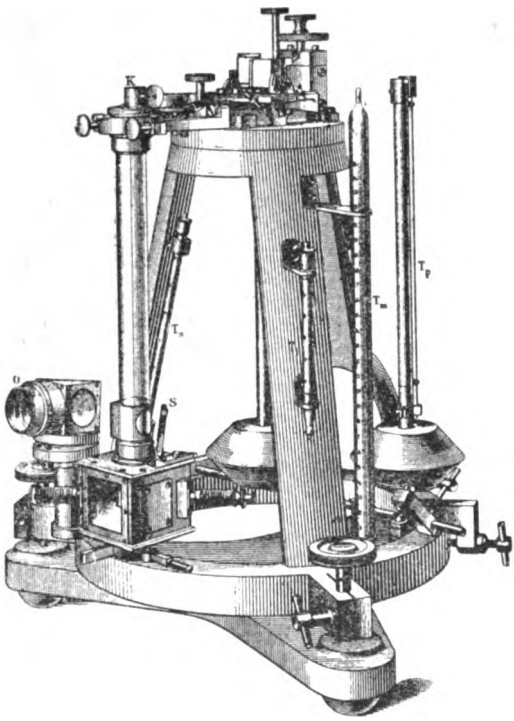
Фиг. 27.

профиль земной поверхности и, вмѣстѣ съ тѣмъ, ходъ геоида и направленіе отвѣсныхъ линій.

Но если массы внутри земли распредѣлены неравномѣрно, если въ одномъ мѣстѣ существуетъ избытокъ, а въ другомъ— дефектъ массъ, то это должно обнаруживаться не только аномаліями въ положеніи отвѣса, но также и аномаліями въ напряженіи тяжести. Можно предполагать, что эти аномаліи, въ количественномъ отношеніи, незначительны, а потому открытіе ихъ потребуетъ весьма точныхъ методовъ изслѣдованія. Такимъ именно тонкимъ орудіемъ наблюденія служитъ маятникъ, число качаній котораго въ единицу времени, при одинаковыхъ прочихъ условіяхъ, зависитъ отъ напряженія тяжести. При этихъ опредѣленіяхъ можно пользоваться или оборотнымъ маятникомъ для *абсолютныхъ* опредѣленій, или относительными приборами, устроенными по мысли Sterneck'a и Defforge'a. Въ настоящее время многія наблюденія отнесены къ абсолютнымъ опредѣленіямъ Прусскаго геодетическаго института въ Потсдамѣ, при посредствѣ прекрасныхъ относительныхъ приборовъ, изготовляемыхъ механикомъ Stückrath'омъ въ Friedenau близъ Берлина. На прилагаемомъ чертежѣ (фиг. 28) можно видѣть одинъ изъ

Digitized by Google

такихъ приборовъ [1]). Новѣйшіе приборы подобнаго рода съ тремя и четырьмя маятниками описаны въ спеціальныхъ изданіяхъ [2]). Существуютъ и другіе методы для опредѣленія измѣненій напряженія силы тяжести. Упомянемъ о пріемѣ, предложенномъ Mohn'омъ и использованномъ въ недавнее время Haecker'омъ [3]).



Фиг. 28.

Идея Mohn'а основана на томъ, что показаніе гипсотермометра не зависитъ отъ напряженія тяжести. Поэтому, если мы будемъ вести параллельныя наблюденія надъ гипсотермометромъ и ртутнымъ барометромъ, то разности показаній этихъ двухъ приборовъ дадутъ матеріалъ для вычисленія соотвѣтствующихъ измѣненій силы тяжести.

Точныя наблюденія надъ качаніями маятника показали, что въ напряженіяхъ тяжести, отнесенныхъ къ уровню океана, существуютъ аномаліи. Часть этихъ аномалій объясняется тѣмъ, что мы всѣ наши измѣренія относимъ къ

---

[1]) Helmert. Bericht über die relativen Messungen der Schwerkraft mit Pendelapparaten. Neuchatel. 1896.

[2]) Sulla determinazione della constanti dell apparato tripendolare per le misure di gravita relativa, del Tenente di vascello Doct. A. Alessio. Въ Annali Idrografici Vol. IV, anno 1903—1904, а также Winkelmann. Handbuch der Physik. Ersten Band. Leipzig. 1906, стр. 474.

[3]) Haecker. Bestimmungen der Schwerkraft auf dem atlantischen Ocean. Veröff. des K. Preussischen Geodätischen Instituts. Berlin. 1903.

Digitized by Google

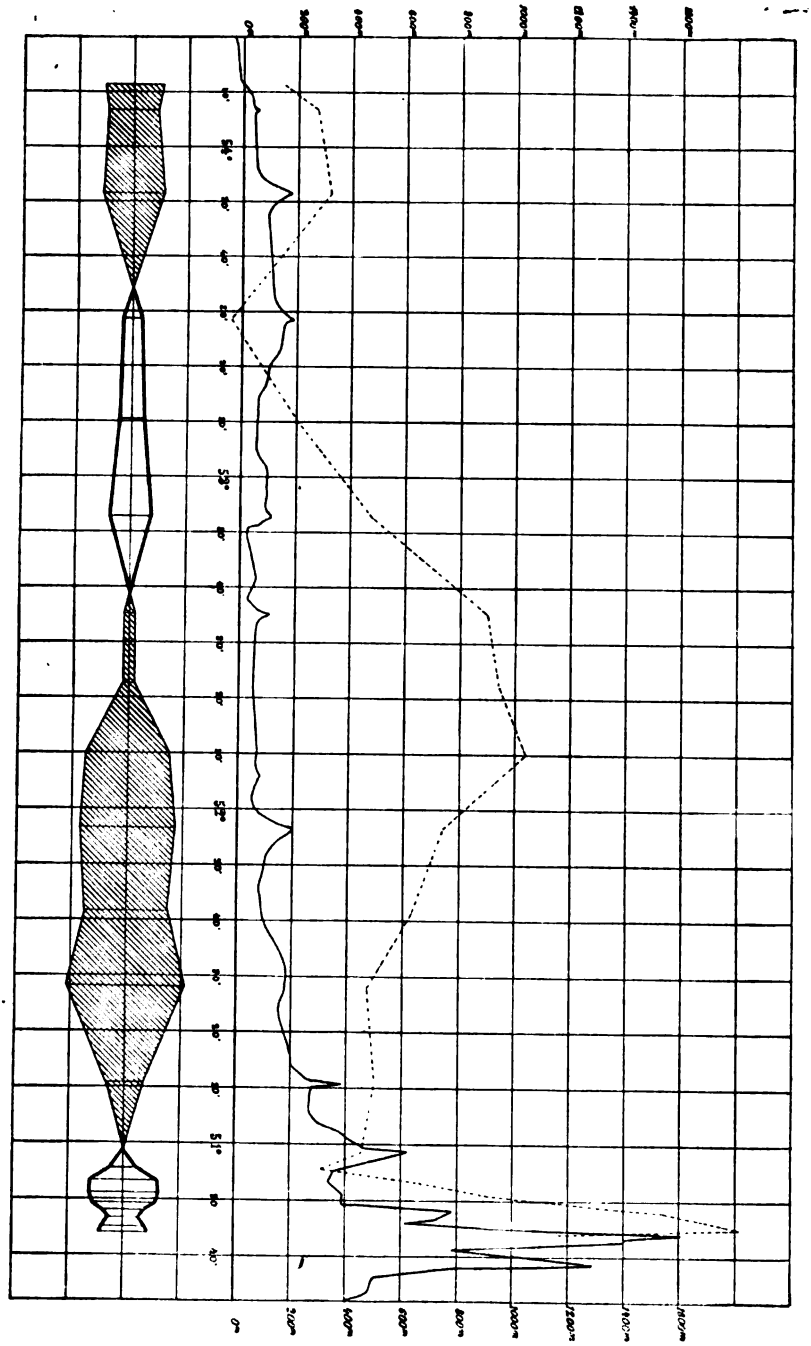
поверхности океана, т. е. къ поверхности геоида, который не представляетъ поверхности одинаковаго напряженія тяжести; другая же ихъ часть представляетъ дѣйствительныя аномаліи тяжести. Въ настоящее время установлены даже нѣкоторые общіе законы этихъ аномалій:

1) Аномаліи, сведенныя къ уровню моря, вообще отрицательны посреди материковъ и положительны посреди океановъ; иными словами, существуетъ какъ бы недостатокъ массъ подъ материками и накопленіе ихъ подъ океанами.

2) Соотвѣтственно этому, найденъ вообще недостатокъ массъ подъ горами и накопленіе ихъ подъ равнинами.

Внутри общихъ аномалій найдены мѣстныя аномаліи, которыя прекрасно иллюстрируются измѣреніями, произведенными въ Пруссіи, Австро-Венгріи и Сѣверной Америкѣ. Въ 1896 г. вышла работа Helmert'a объ измѣреніяхъ силы тяжести по линіи отъ Балтійскаго моря у Кольберга до Scheekopre (фиг. 29). Вдоль этой линіи высота станцій колебалась отъ 8 до 1605 метровъ. Первоначально, у Colberg'a, замѣтно положительное возмущеніе тяжести; далѣе, оно послѣдовательно то уменьшается, то увеличивается, достигая максимума у Klorberg'a, на высотѣ 177 м. Наибольшія отрицательныя отклоненія наблюдены тамъ, гдѣ поверхностные слои состоятъ изъ гранитовъ и порфира; наибольшія положительныя на осадочныхъ породахъ, т. е. на днѣ бывшаго геологическаго моря. Изъ измѣреній австрійскаго морскаго вѣдомства въ области Адріатическаго моря (фиг. 30), видно, что напряженіе тяжести увеличивается отъ береговъ къ центральной части моря. Линія безъ отклоненія идетъ вдоль берега. Въ общемъ ходѣ изолиній тяжести замѣтны, въ свою очередь, болѣе мелкія частныя аномаліи. Замѣчательно, что нѣкоторыя изъ нихъ совпадаютъ съ мѣстными магнитными аномаліями. Въ Венгерской низменности замѣчается избытокъ тяжести, который въ Карпатахъ переходитъ въ уменьшеніе. Въ Богеміи Sterneck нашелъ, въ области первичныхъ формацій, пониженіе, а въ области осадочныхъ породъ—нормальное или повышенное напряженіе тяжести. На фиг. 31 представленъ рельефъ земной коры отъ С. Франциско до Вашингтона по параллели 40° с. ш. На восточномъ берегу Соединенныхъ Штатовъ ускореніе силы тяжести на 0.3 мм. больше теоретической. На плоскогоріи Скалистыхъ горъ оно на 2.4 мм. меньше, а у С. Франциско опять

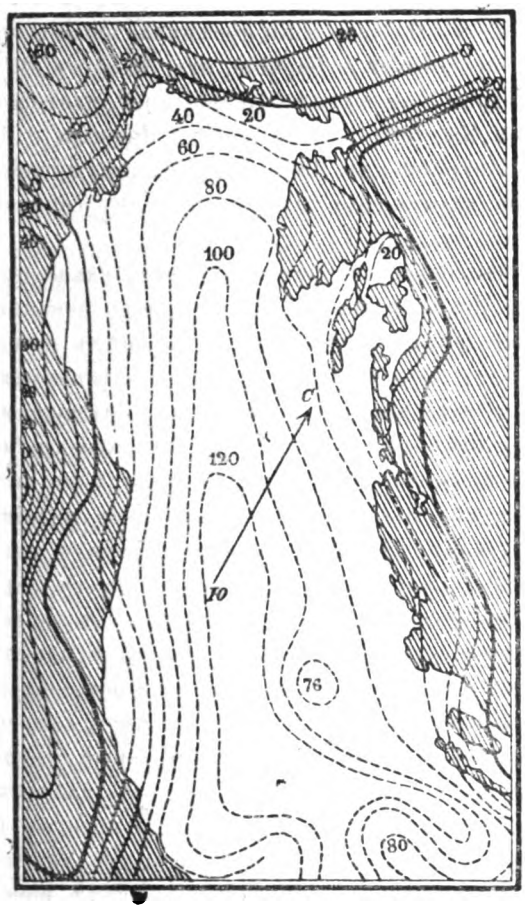
Digitized by Google



Фиг. 29.

Digitized by Google

нѣсколько больше. Ходъ напряженія тяжести выраженъ нижней кривой линіей. Дѣлая нѣкоторыя допущенія относительно плотности залегающихъ массъ, можно, по измѣненію напряженія тяжести, опредѣлить ихъ мощность и глубину залеганія. Аномалія тяжести существуетъ и въ Москвѣ. По изслѣдованіямъ Fritsche, московская аномалія тяжести совпадаетъ съ магнитной аномаліей. Подобная же связь аномалій тяжести съ аномаліями магнитными найдена Eschengagen'омъ при измѣреніяхъ въ Гарцѣ; хотя, съ другой стороны, изслѣдованія Liznar'a въ Австро-Венгріи не подтвердили этой зависимости. Въ этомъ отношеніи, весьма важное научное значеніе могли



Фиг. 30.

Фиг. 31.

Digitized by Google

бы имѣть измѣренія напряженія тяжести въ области замѣчательной Курской магнитной аномаліи, а также магнитныя опредѣленія вблизи Крымскихъ горъ, въ области сильныхъ положительныхъ аномалій тяжести. На основаніи прежнихъ наблюденій Швейцера, подъ всей Московской губерніей, отъ ЗЮЗ къ ВСВ, тянутся подземныя пустоты или толщи уменьшенной плотности (Швейцерова аномалія). Къ тому же заключенію привели и новѣйшія наблюденія г. Иверіона въ 1893 году, обнаружившаго подъ нейтральной зоной уменьшеніе тяжести, соотвѣтствующее дефекту массъ.

Было высказано нѣсколько соображеній относительно причинъ общихъ аномалій тяжести. По мнѣнію Фая, подъ океанами земная кора, вслѣдствіе низкой температуры нижнихъ слоевъ океана, гораздо толще и плотнѣе, чѣмъ подъ континентами. Airy, по поводу кажущагося дефекта массъ подъ Гималаями, высказалъ мысль, что, подъ давленіемъ этого горнаго хребта, земная кора уступаетъ и основаніе хребта погружается въ ниже лежащія, болѣе плотныя, массы (пластическія или даже жидкія); основаніе горъ имѣетъ, слѣдовательно, плотность, равную плотности самаго хребта, т. е. уменьшенную по сравненію съ окружающими вытѣсненными массами. Горныя массы представляютъ собою какъ бы подобіе айсберга, плавающаго въ болѣе плотной водѣ. Но если это справедливо, то *излишекъ* напряженія, обусловленный массами, нагроможденными выше уровня моря, долженъ компенсироваться *недостаткомъ* массы, лежащей ниже уровня моря и составляющей часть горы, погруженную въ пластическую массу земли. И дѣйствительно, измѣренія Штернека въ тирольскихъ Альпахъ показали, что если всѣ измѣренія тяжести свести къ уровню моря, исключивъ притяженіе всѣхъ массъ, лежащихъ выше этого уровня, то получимъ, что напряженіе тяжести во всей области вообще уменьшено. Допустивъ, что лежащіе подъ уровнемъ моря слои имѣютъ плотность 2.4, равную средней плотности нагроможденныхъ въ Тиролѣ массъ, найдемъ, что мощность этого подземнаго слоя уменьшенной плотности должна равняться 1300 м.; а эта мощность равна приблизительно средней высотѣ страны, занятой Тирольскими Альпами. Такая же компенсація надземныхъ и подземныхъ массъ найдена Messerschmitt'омъ въ Швейцаріи и Putmann'омъ въ Скалистыхъ горахъ. Но это не есть общее правило. Напр., Preston думаетъ,

Digitized by Google

что массы Мауна-Кея на Сандвичевыхъ островахъ не компенсируются подземнымъ дефектомъ. То же показали измѣренія Кульберга въ 1892 г. относительно Крымскихъ горъ.

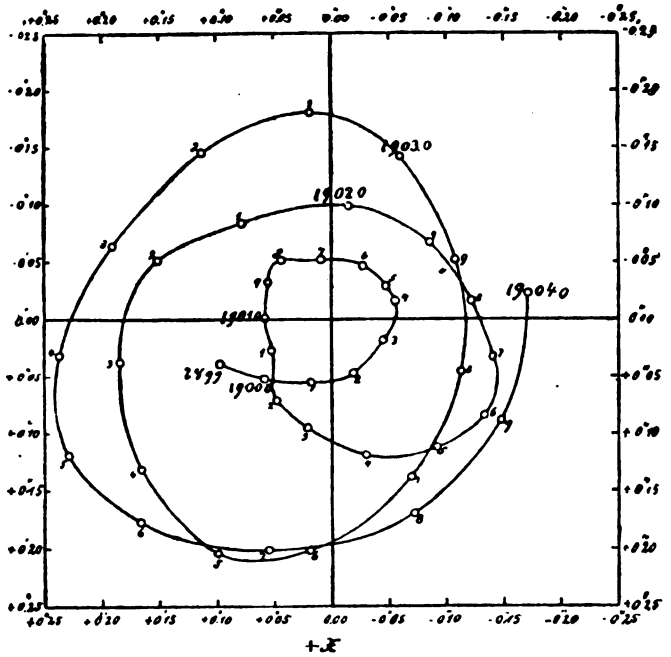
Но если не существуетъ компенсаціи относительно отдѣльныхъ горъ, то материки, взятые въ цѣломъ, находятся, повидимому, въ состояніи компенсаціи, которую можно назвать своего рода *изостазіей*. Материки можно уподобить громаднымъ пьедесталамъ, на которыхъ разсѣяны отдѣльныя горныя массы; давленіе этихъ послѣднихъ способствуетъ большему погруженію всей континентальной пластины. Внутри этихъ континентальныхъ пластинъ, массы распредѣлены неравномѣрно, что обусловливаетъ *мѣстныя* аномаліи тяжести.

Вообще, аномаліи тяжести, изучаемыя при посредствѣ маятника, дадутъ возможность освѣтить тайны строенія нѣдръ земли. На помощь естествоиспытателю, въ этомъ трудномъ вопросѣ, является новое орудіе — магнитная стрѣлка. A priori, можно сказать, что сложность въ распредѣленіи матеріальныхъ массъ внутри земли влечетъ за собой извѣстную сложность въ распредѣленіи магнитныхъ массъ. И дѣйствительно, магнитныя съемки обнаружили, что на общемъ нормальномъ магнитномъ фонѣ земли существуетъ также рядъ аномалій. Ближайшему будущему предстоитъ открыть законы распредѣленія этихъ аномалій, а также связать ихъ съ аномаліями тяжести и съ законами геотектоники.

Перемѣщаются ли внутри земли магнитныя и матеріальныя массы, вызывающія на земной поверхности аномаліи, или онѣ связаны между собою и съ земной корой неизмѣннымъ образомъ? Согласіе магнитныхъ хребтовъ, найденныхъ въ Англіи въ 1891 году, съ хребтами 1886 года привело Rücker'a къ заключенію, что магнитныя уклоненія зависятъ отъ неподвижныхъ базальтовыхъ массъ, подвергающихся дѣйствію вліянія въ магнитномъ полѣ земли. Мы не имѣемъ никакихъ указаній относительно возможности перемѣщенія въ пространствѣ аномалій тяжести, такъ какъ эти аномаліи изслѣдуются подробно лишь въ послѣднее время. Намекомъ на вѣроятность перемѣщеній массъ внутри земли могутъ служить медленныя и весьма малыя измѣненія географической широты, которыми въ послѣднее время такъ много занимаются астрономы. На основаніи, напримѣръ, изслѣдованій Albrecht'a полюсъ земли съ 1890 по 1895 годъ

Digitized by Google

описывалъ около средняго положенія спиральную линію по направленію, противоположному часовой стрѣлкѣ, постепенно приближаясь къ среднему положенію. Полный оборотъ около 15 мѣсяцевъ. По изслѣдованіямъ Chandler'a и Gonessiat, это колебаніе сложное, распадающееся на болѣе простыя колебанія. На фигурѣ 32 представлено перемѣщеніе полюса съ 1900 по 1904 годъ



Фиг. 32.

и выражено въ секундахъ дуги. Секунда дуги равна 31 метру. Наиболѣе значительное перемѣщеніе полюса имѣло мѣсто отъ 1 іюня 1903 до 1 января 1904 года, когда оно достигло 0″.425 или 13.2 метра [1]). Профессоръ Milne высказалъ предположеніе, что между колебаніемъ полюса и числомъ землетрясеній существуетъ связь:

[1]) Bulletin de la société astronomique de France. Septembre, 1904.

Digitized by Google

Годы.	Число землетрясеній.	Перемѣщеніе полюса.
1897	47	1″.07
1898	50	1 .03
1902	29	0 .97
1896	18	0 .91
1899	27	0 .72
1895	9	0 .55
1901	22	0 .53
1900	17	0 .32.

Сейсмическія движенія. Происходятъ ли измѣненія силъ магнитныхъ и силъ тяжести во времени? Относительно магнитныхъ силъ мы уже давно имѣемъ утвердительный отвѣтъ. Направленіе и величина магнитныхъ силъ претерпѣваютъ постоянныя измѣненія, которыя записываются на нашихъ магнитныхъ обсерваторіяхъ при помощи варіаціонныхъ приборовъ. Одна группа этихъ измѣненій имѣетъ характеръ періодичности (суточныя, годовыя); ко второй группѣ относятся временныя и сложныя измѣненія—магнитныя бури или аномаліи во времени, сопровождающіяся полнымъ, такъ сказать, потрясеніемъ магнитно-электрической энергіи земли (полярныя сіянія, земные токи). Есть основаніе предполагать, что эти магнитно-электрическія бури являются отраженіемъ, неизвѣстныхъ намъ пока, пертурбацій въ космосѣ и, въ частности, въ жизнедѣятельности солнца.

Существуютъ-ли аналогичныя измѣненія или варіаціи въ направленіи и силѣ тяжести? Теоретически говоря, эти варіаціи должны существовать. Если даже допустить, что внутреннія массы сами по себѣ неподвижны, то направленіе и величина равнодѣйствующей силы тяготѣнія въ каждой данной точкѣ будетъ измѣняться при измѣненіи разстоянія и положенія земли относительно небесныхъ свѣтилъ, при приближеніи метеорныхъ потоковъ, а также, вслѣдствіе приливныхъ деформацій, которымъ подвергается вся наша планета въ ея цѣломъ. Правда, что эти варіаціи крайне незначительны, а потому измѣреніе ихъ потребуетъ огромнаго напряженія наблюдательной техники. Весьма вѣроятно, что астрономическія обсерваторіи со временемъ будутъ снабжены своего рода варіаціонными приборами тяжести

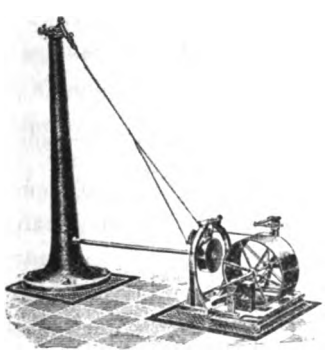
Digitized by Google

для приведенія всѣхъ своихъ наблюденій къ извѣстной эпохѣ, какъ теперь мы приводимъ магнитныя измѣренія при помощи магнитныхъ варіаціонныхъ приборовъ. Но вопросъ о регистрированіи варіацій направленія тяжести осложняется тѣмъ, что всѣ наши измѣрительные инструменты связаны съ землею, а слѣдовательно, подвергаются измѣненіямъ, зависящимъ отъ колебаній земной коры. Земная кора, какъ извѣстно, испытываетъ, особенно въ извѣстныхъ мѣстностяхъ, колебанія, толчки, перемѣщенія по горизонтальному и вертикальному направленіямъ (сейсмическія явленія). Изъ нѣкоторыхъ очаговъ эти колебанія передаются иногда на значительныя разстоянія. Въ ходѣ этихъ колебаній замѣчается нерѣдко, своего рода, сейсмическая инерція. Разъ вызванныя колебанія почвы поддерживаются съ перерывами нерѣдко цѣлые дни и мѣсяцы, какъ результатъ своего рода упругаго послѣдѣйствія. Такъ, сейсмическія движенія въ Андалузіи начались въ декабрѣ 1884 г., а окончились въ апрѣлѣ 1885 г. Сейсмы въ Кроатіи начались въ 1880 г. и продолжались съ перерывами до 1885 г. Землетрясенія въ Фокидѣ въ 1870 г. длились $3^1/_2$ года; у эпицентра произошло отъ 500.000 до 750.000 сотрясеній; въ мѣстечкѣ Монтлія яйцо, находившееся на металлической пластинкѣ, не переставая, дрожало въ теченіе 3-хъ мѣсяцевъ. Эти видимыя колебанія почвы, — макроколебанія, — раздѣлены другъ отъ друга періодами кажущагося затишья; кромѣ того, они ограничиваются извѣстными районами. По мѣрѣ того, какъ расширяется сѣть наблюдательныхъ сейсмическихъ станцій, обнаруживается тотъ фактъ, что колебанія почвы въ дѣйствительности случаются гораздо чаще, чѣмъ это прежде думали. Напримѣръ, на пространствѣ Австро-Венгріи, въ теченіе 1897 года, отмѣчено 203 дня съ землетрясеніями. Когда явилось въ землевѣдѣніи стремленіе къ изученію остаточныхъ явленій и микроявленій, то естественно возникъ вопросъ, насколько абсолютно прочна и устойчива земная кора. Въ этомъ отношеніи намѣчены первоначально отдѣльные факты. Такъ, Plantamour въ Женевѣ, изъ наблюденій надъ перемѣщеніемъ пузырьковъ двухъ прочно установленныхъ уровней, констатировалъ суточныя и годовыя микроколебанія почвы. Трудами Rossi, Bertelli, Milne'a и другихъ организована была въ Италіи и Японіи цѣлая сѣть геодинамическихъ станцій, зорко слѣдящихъ за жизнедѣятельностью земной коры. Въ послѣднее время, по ини-

Digitized by Google

ціативѣ Реберъ-Пашвича, во многихъ пунктахъ, установлены для этой цѣли, такъ называемые, горизонтальные маятники, отличающіеся крайней чувствительностью. Помощью луча свѣта, брошеннаго на зеркальце прибора и отраженнаго на свѣточувствительную бумагу, наложенную на движущемся барабанѣ, маятникъ отмѣчаетъ малѣйшія измѣненія въ относительномъ положеніи оси прибора и отвѣсной линіи, а, слѣдовательно, записываетъ, какъ колебанія отвѣсной линіи, такъ и колебанія почвы. Такіе маятники установлены въ Россіи Е. В. Кортацци въ Николаевѣ, профессоромъ Левицкимъ въ Харьковѣ и Юрьевѣ, профессоромъ Лейстомъ въ Москвѣ и, въ послѣднее время, въ Одессѣ.

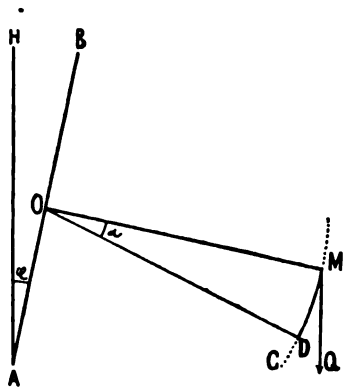
Горизонтальный маятникъ. Идея горизонтальнаго маятника весьма проста. Къ вертикальной оси подвѣшенъ треугольникъ, составленный изъ легкихъ трубокъ, такъ что онъ, съ весьма малымъ треніемъ, можетъ качаться около этой оси. Если ось вполнѣ вертикальна, то треугольникъ сохраняетъ безразличное равновѣсіе; но если ось вращенія составляетъ хотя бы весьма малый уголъ съ вертикальнымъ направленіемъ, то маятникъ приметъ опредѣленное положеніе равновѣсія; центръ его тяжести расположится въ плоскости, проходящей черезъ ось вращенія и вертикальную линію. Малѣйшія боковыя колебанія вертикальнаго направленія влекутъ за собой измѣненіе въ положеніи равновѣсія маятника и его вершинная точка перемѣщается. Приборъ, при соотвѣтствующемъ положеніи его частей, можетъ отмѣтить измѣненіе въ положеніи отвѣсной линіи въ 0″.001. Наблюдать можно непосредственно по способу Poggendorf'a, т. е. при помощи трубы со шкалой; можно также заставить приборъ записывать или фотографическимъ или механическимъ путемъ. Фигура 33-я представляетъ горизонтальный маятникъ въ той формѣ, въ какой его изготовляетъ механикъ Bosch въ Страсбургѣ (тяжелый страсбургскій маятникъ). Пусть (фиг. 34). *A* и *B* суть точки при-



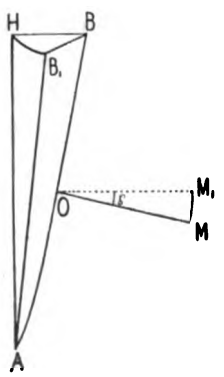
Фиг. 33.

Digitized by Google

вѣса маятника; M — центръ тяжести всей подвижной части маятника, AH — вертикаль, проходящая черезъ нижнюю точку привѣса, φ — уголъ HAB. При вращеніи маятника точка M описываетъ окружность круга, перпендикулярнаго къ оси AB. Проэкція силы тяжести Q на плоскость этого круга равна $QSin\varphi$. Эта слагающая силы тяжести будетъ уравновѣшена сопротивленіемъ оси только для такихъ положеній точки M, при которыхъ она находится въ плоскости HAB. Если вывести точку M изъ плоскости HAB на уголъ α, то сила, возвращающая ее въ первоначальное положеніе равновѣсія, равна $QSin\varphi\,Sin\alpha$; такъ какъ верхняя точка подвѣса можетъ быть перемѣщаема, то уголъ φ, а вмѣстѣ съ тѣмъ и чувствительность маятника къ постороннимъ вліяніямъ можетъ быть строго регулируема. Дѣлая φ достаточно малымъ, мы получимъ, что самая незначительная сила x, дѣйствующая на точку M (притяженіе луной), способна отклонить маятникъ на значительный уголъ α, опредѣляемы уравненіемъ $x=Q\,Sin\varphi\,Sin\alpha$, гдѣ x есть искомая сила, направленная перпендикулярно къ плоскости QMO. Чтобы опредѣлить уголъ φ, заставляютъ маятникъ качаться. Такъ какъ направляющая сила тяжести для качаній этого маятника есть $QSin\varphi$, то время полуколебанія $T=\pi\sqrt{\frac{K}{QSin\varphi}}$, гдѣ K—моментъ инерціи маятника относительно оси подвѣса. K можетъ быть опредѣлено (приблизительно), наблюдая качанія того же маятника въ вертикальной плоскости. Пусть (фиг. 35) вертикаль изъ AH перейдетъ въ AB_1; обозначимъ двугранный уголъ HBB_1 черезъ δ. Тогда точка M перейдетъ въ M_1, гдѣ уголъ MOM_1 также равенъ δ. Дуга $MM_1=\delta.OM$.



Фиг. 34.



Фиг. 35.

Digitized by Google

$$\delta = \frac{HB_1}{BH} = \frac{HB_1}{AB\,Sin\varphi}.$$

Такимъ образомъ:

$$MM_1 = \frac{HB_1 . OM}{AB . Sin\varphi},$$

но $\frac{HB_1}{AB}$ = приблизительно = $Sin\, HAB_1 = Sin\psi$,

гдѣ ψ уголъ между прежней и новой вертикалью.

Отсюда $MM_1 = Sin\psi \frac{OM}{Sin\varphi}$.

Для нашего аппарата OM приблизит. = 750 мм. Благодаря увеличительному аппарату прибора величину MM_1 въ $^1/_{20}$ мм. еще очень легко измѣрить (перо при этомъ перемѣстится на $^1/_2$ мм.). Если положить $\varphi = 5^0$, то уклоненіе вертикали въ 1″ дуги будетъ легко замѣтно. (Выводъ этотъ принадлежитъ М. А. Аганину).

Наблюденія показали, что даже въ періоды кажущагося сейсмическаго затишья, въ раіонахъ далекихъ отъ сейсмическихъ областей, маятники находятся въ постоянномъ движеніи. Почва наша, слѣдовательно, не представляетъ абсолютно неподвижнаго основанія. Линія, нормальная къ земной поверхности въ данной точкѣ, описываетъ въ пространствѣ извѣстную поверхность. Разбираясь въ этихъ сложныхъ движеніяхъ, можно подмѣтить нѣкоторую законность и причинность:

1) Суточныя и годовыя микроколебанія, зависящія отъ теплового дѣйствія солнца на земную кору.

2) Совершенно ясныя полусуточныя колебанія, обусловленныя дѣйствіемъ луны.

3) Земная кора изгибается подъ вліяніемъ измѣненій давленія и весьма чувствительна къ ударамъ вѣтра.

4) Существуетъ особый родъ движеній—пульсаціи. Но фотограммахъ эти колебанія представляются въ видѣ короткихъ, не всегда симметричныхъ, волнъ. Иногда онѣ видимы только подъ микроскопомъ. Лишь рѣдко амплитуды ихъ достигаютъ нѣсколькихъ миллиметровъ. Періоды ихъ измѣняются отъ 3—5″ до нѣсколькихъ минутъ. Причины этихъ пульсацій пока не выяснены.

Digitized by Google

5) Наблюдаютъ, наконецъ, сейсмическія бури разнообразнаго характера, которыя продолжаются иногда цѣлые часы. Особеннаго вниманія заслуживаетъ чуткость горизонтальныхъ маятниковъ къ отдѣльнымъ землетрясеніямъ. Землетрясенія центральной Азіи, Японіи, Южной Америки посылаютъ сейсмическія волны, отмѣчаемыя маятниками Европы, по записямъ которыхъ можно опредѣлить скорость распространенія сейсмическихъ волнъ въ земной корѣ. Отъ 4 августа 1893 г. по 4 августа 1894 г. въ Харьковѣ отмѣчено 124 землетрясенія. Въ теченіе 1897 г. маятникъ въ Юрьевѣ не работалъ 43 дня. Въ остальные дни 1897 года записано 80 землетрясеній. Особенно сильное наблюдалось 12 іюня и очагъ его находился въ Индіи.

Итакъ, земная кора не сохраняетъ неподвижности; она изгибается отъ дѣйствія давленія и вѣтра, деформируется отъ притягательнаго дѣйствія луны, пульсируетъ; она дрожитъ вслѣдствіе своей эластичности отъ дѣйствія отдаленныхъ землетрясеній.

Средняя плотность земли. Въ связи съ вопросомъ о матеріальномъ взаимодѣйствіи отдѣльныхъ массъ, составляющихъ землю, находится также вопросъ о *средней плотности земли.* Въ настоящее время, съ значительной точностью, опредѣлена средняя плотность земного сфероида, взятаго въ его цѣломъ. Примѣнены были различные, независимые другъ отъ друга, методы: сравненіе притяженія земли съ притяженіемъ горы, качанія маятника на вершинѣ горы и у подошвы, качаніе маятника на поверхности земли и на днѣ шахты, методъ крутильныхъ вѣсовъ, обыкновенное взвѣшиваніе на двухъ высотахъ и при дѣйствіи значительныхъ свинцовыхъ массъ, качаніе маятника между двумя массами желѣза. Эти методы, особенно въ послѣднее время, дали весьма близкіе результаты[1]). Можно принять, согласно Helmert'у, что средняя плотность земли равна 5.60. Сопоставимъ нѣкоторые результаты:

Maskelyne-Hutton . .	4.7	Cavendish	5.48
James	5.32	Reich (I)	5.49

[1]) Knopf. Ueber die Methoden zur Bestimmung der mittleren Dichtigkeit der Erde. Jena. Подробная литература указана также у Günther'a «Lehrbuch der Geophysik».

Digitized by Google

Reich (II)	5.58	Jolly	5.692
Baily	5.67	Wilsing	5.594
Airy-Haugton	5.48	Wilsing	5.579
Cornu-Baille	5.56	Poynting	5.4934
Mendenhall	5.77	Sterneck	5.77

Такъ какъ плотность коры земной равна приблизительно 2.5—2.8, то плотность земли къ центру должна возрастать; но истинный законъ этого возрастанія неизвѣстенъ. Вопросъ можемъ рѣшить только теоретически, сдѣлавъ извѣстныя допущенія. На основаніи, напримѣръ, изысканій Stapff'a, плотность отъ поверхности, гдѣ она равна 2.792, увеличивается сначала быстро; на разстояніи 0.3 радіуса она равна 6.46; далѣе приращеніе замедляется и въ центрѣ земли плотность достигаетъ 8.375 [1]). Близкіе къ этому выводы получилъ Lipschitz:

	Stapff.	Lipschitz.
поверхность земли	2.792	2.5
На разстояніи 0.1 радіуса отъ поверхности .	4.305	4.0
» » 0.2 » » » .	5.517	5.4
» » 0.3 » » » .	6.460	6.5
» » 0.9 » » » .	8.369	9.4
» » 1.0 » » » .	8.375	9.45

Sterneck далъ другую формулу, а именно плотность d на глубинѣ x:

$$d = 15.136 - 12.512x.$$

На этомъ основаніи, плотность возрастаетъ отъ 2.624 (на поверхности) до 15.136 (въ центрѣ земли).

Предполагаемое давленіе на различныхъ глубинахъ. Съ глубиною увеличивается также давленіе, которое испытываютъ слои земли. По Lipschitz'у, давленіе въ атмосферахъ на различныхъ глубинахъ слѣдующее:

---

[1]) Stapff. Ueber die Zunahme der Dichtigkeit der Erde nach ihren Inneren. Verhandlungen d. Physikal Gesellschaft zu Berlin. Jahrgang II, № 8, s. 790.

Digitized by Google

на	поверхности	земли	. . . .	1
»	глубинѣ	0.1 радіуса	. . .	425000
»	»	0.2 »	. . .	1040000
»	»	0.3 »	. . .	1800000
»	»	0.4 »	. . .	2615000
»	»	0.5 »	. . .	3440000
»	»	0.6 »	. . .	4200000
»	»	0.7 »	. . .	4840000
»	»	0.8 »	. . .	5390000
»	»	0.9 »	. . .	5610000
»	»	1.0 »	. . .	5720000

Общія черты лика земли. Придерживаясь гипотезы Канта и Лапласа, мы можемъ сказать, что земля наша отдѣлилась нѣкогда отъ центральной массы, сохранивъ значительный запасъ тепловой энергіи. Медленно и постепенно шелъ процессъ ея остыванія. Образовавшаяся, въ извѣстной стадіи охлажденія, твердая кора не могла сохранить равновѣсія подъ напоромъ внутреннихъ силъ. Подземныя динамическія силы проявляли время отъ времени, свою дѣятельность, производя разрывъ коры, выходъ расплавленныхъ породъ на дневную поверхность земли, перемѣщеніе частей коры по вертикальному направленію. Тогда же намѣтились очертанія тѣхъ поднятій, которыя образовали материки и тѣхъ главныхъ впадинъ, которыя нынѣ заняты океанами. Наука имѣетъ основаніе предполагать, что материки и океаны являются первозданными и первоначальными формами рельефа. Съ теченіемъ времени, геологическая жизнь нашей планеты подвинулась, но работа подземныхъ силъ продолжалась и дальше. Подъ дѣйствіемъ этихъ силъ пласты измѣняли свое положеніе; нѣкоторые сдвигались по горизонтальному направленію, другіе были выдвинуты вертикально; третьи приходили въ наклонное положеніе. Если пласты претерпѣвали боковое давленіе, то они образовали складки. Совокупность всѣхъ этихъ измѣненій геологи называютъ дислокаціями. Продукты изверженій образовали цѣлые конусы. Къ указанному основному источнику энергіи прибавились новые дѣятели: вода, атмосфера и органическая жизнь. Вода въ одномъ мѣстѣ производила размывы материковаго рельефа (денудація), въ другомъ — отложеніе размытаго

Digitized by Google

матеріала. Атмосфера способствовала вывѣтриванію породъ, образованію песчаныхъ холмовъ. Органическая жизнь, какъ напримѣръ, жизнь коралловъ, воздвигала цѣлые коралловые острова. Всѣ эти указанные дѣятели создали тотъ наружный видъ земли, тотъ ея рельефъ, который мы называемъ *ликомъ* земли. Всѣ указанные дѣятели продолжаютъ свою работу и понынѣ, а потому ликъ земли продолжаетъ измѣняться, хотя весьма медленно, и до настоящаго времени. Исходя изъ той мысли, что всѣ явленія въ природѣ совершаются по извѣстнымъ законамъ, географы давно уже пытались подмѣтить въ строеніи земного рельефа такія черты, которыя бы могли привести къ открытію общихъ законовъ образованія лика земли. Нѣкоторыя особенности дѣйствительно подмѣчены и названы *географическими гомологіями*. Но приходится сознаться, что изученіе гомологій, въ связи съ жизнью нашей планеты, еще мало подвинуто.

Ограничимся обозрѣніемъ современнаго лика земли лишь въ самыхъ общихъ чертахъ. Почти три четверти земной поверхности покрыты водой. Въ настоящее время, мы не можемъ точно вычислить пространство, занятое сушей и водой, такъ какъ околополярныя страны, особенно антарктическаго пояса, намъ совершенно неизвѣстны. Крайняя точка на сѣверѣ, до которой человѣку удалось проникнуть, лежитъ подъ 87° 6′ (*R. E. Peary*) [1]), а въ южномъ полушаріи подъ 78° 50′ ю. ш.[2]). Высказано было мнѣніе, что на сѣверномъ полюсѣ находится обширное море; различныя косвенныя соображенія заставляютъ предполагать существованіе антарктическаго материка около южнаго полюса. Вообще можно считать, что пространство, совершенно неизвѣстное намъ до настоящаго времени, составляетъ 5.8% (по Toulet)

---

[1]) За послѣдніе 30 лѣтъ удалось приблизиться къ полюсу на 3° 46′, какъ видно изъ слѣдующаго:

въ 1876 г. Nares достигъ . . .	83° 20′	с. ш.
» 1882 г. Greely » . . .	83 24	»
» 1896 г. Nansen » . . .	86 14	»
» 1900 г. герц. Abruzzo достигъ	86 34	»
» 1906 г. Peary достигъ . . .	87 6	»

Bulletin de la société astronomique de France. Février 1907, p. 102.

[2]) Экспедиція «Sauthern Cross. Bulletin de la société de Géographie de Marseille», 1905, T. XXIX, № 4, p. 449.

Digitized by Google

всей земной поверхности. По вычисленію Wagner'a, суша и вода занимаютъ слѣдующее пространство, выраженное въ квадратныхъ километрахъ:

вода . . .	365501000	квадр. километра,
суша . . .	144449000	» » ,
всего . . .	509950000	» » ,

т. е. на долю воды приходится 71.7%, а на долю суши 28.3%; отношеніе 2.6:1. Но суша распредѣлена неравномѣрно по полушаріямъ. Суша составляетъ

въ сѣверномъ	полушаріи	40%	всей поверхности	сѣверн. полуш.
» южномъ	»	17	» »	южн. »
» восточномъ	»	35	» »	восточн. »
» западномъ	»	20	» »	западн. »

Еще нагляднѣе можно видѣть распредѣленіе суши и воды по широтамъ изъ слѣдующей таблицы, показывающей количество воды въ процентахъ для различныхъ поясовъ:

Широта		Широта	
70°—80° с. ш. . .	71.2%	0°—10° с. ш. . .	77.2%
60 —70 » . .	28.6	0 —10 ю. ш. . .	76.4
50 —60 » . .	43.1	10 —20 » . .	77.9
40 —50 » . .	47.7	20 —30 » . .	76.9
30 —40 » . .	57.2	30 —40 » . .	88.6
20 —30 » . .	62.4	40 —50 » . .	96.8
10 —20 » . .	73.7	50 —60 » . .	99.2

Изъ таблицы этой можно видѣть, что наименьшее количество воды находится въ поясѣ, лежащемъ между 60° и 70° с. ш., и непрерывно возрастаетъ къ югу, такъ что поясъ 50°—60° ю. ш. почти весь лежитъ на водѣ. Контрастъ между двумя этими полушаріями будетъ еще рѣзче, если мы за полюсъ земли примемъ точку, лежащую подъ 48° с. ш. и 1° 5′ западной долготы отъ Парижа (департаментъ Эры и Лоары); антиподъ этой точки находится въ Новой Зеландіи. Въ этомъ случаѣ, отношеніе между сушей и водой въ полушаріи, имѣющемъ полюсъ во Франціи, равно 1:1.1, а въ противоположномъ—1:8.5. Вообще, слѣдовательно, вся суша сдвинута какъ бы въ сторону одного

Digitized by Google

полушарія, гдѣ она образуетъ материковое кольцо, окаймляющее сѣверный полюсъ и обращенное къ нему своими низменными частями. Наиболѣе выдвинутыя точки этого кольца лежатъ

въ Европѣ подъ 71° 10′ с. ш.,
» Азіи » 77° 42′ » ,
» Америкѣ » 71° 50′ » .

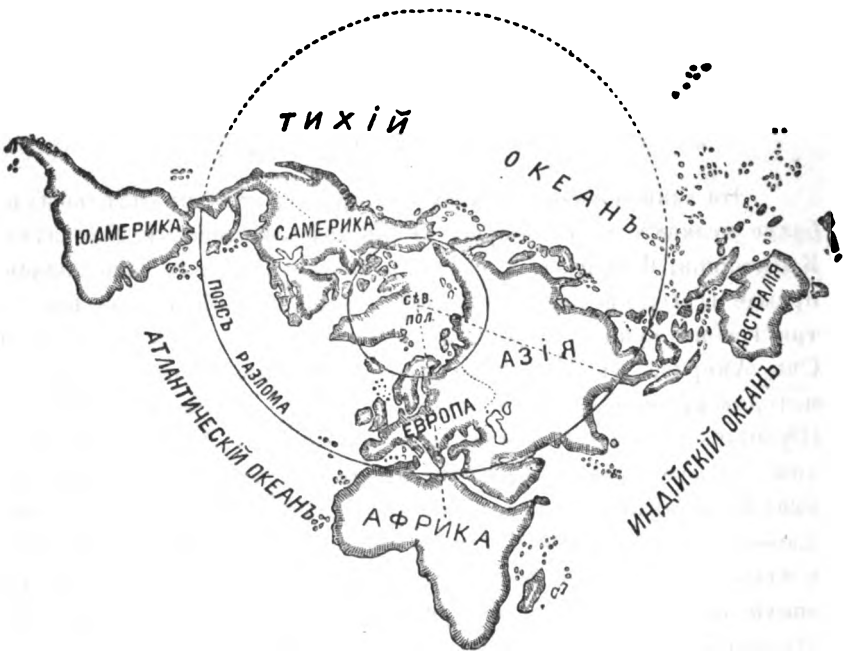
Наиболѣе высокія точки этого кольца лежатъ въ тропическомъ поясѣ или вблизи него. Къ югу, кольцо оканчивается клинообразно, выдаваясь

въ Африкѣ до 34° 51′ ю. ш.,
» Австраліи » 43° 40′ » ,
» Америкѣ » 56° 0′ » .

Эта клинообразная форма повторяется даже въ отдѣльныхъ, болѣе мелкихъ, частяхъ суши (Индостанъ, Индокитай, Камчатка, Калифорнія, Флорида). Работа динамическихъ силъ выразилась, прежде всего, въ томъ, что какъ будто выдвинула три волны, три гребня суши: Европа съ Африкой, Азія съ Австраліей и Сѣв. Америка съ Южной Америкой. Каждый изъ сѣверныхъ материковъ соединенъ съ каждымъ изъ южныхъ перешейкомъ (Суэцкій, Панамскій). Мостомъ, связующимъ Азію съ Австраліей, является рядъ острововъ, лежащихъ между этими материками и составляющихъ остатки нѣкогда бывшаго здѣсь материка. Европа рѣзко отдѣлена отъ Азіи Западно-Сибирской низменностью. По мнѣнію геологовъ, въ силлурійскую и девонскую эпохи здѣсь находился обширный водный бассейнъ, далеко простиравшійся къ югу. Связь между Сѣверной и Южной Америкой установилась въ болѣе недавнія времена, на что указываетъ сходство фауны Тихаго и Атлантическаго океановъ въ частяхъ, прилегающихъ къ Панамскому перешейку. Связь между Европой и Африкой видна изъ сходства фауны сѣверной Африки и южной Европы. Гибралтарскій проливъ сравнительно недавняго происхожденія. Между Тунисомъ и Сициліей существуетъ весьма мелкое море, раздѣляющее водоемъ Средиземнаго моря на два глубокихъ бассейна. Бросается въ глаза еще одна особенность въ строеніи трехъ материковыхъ гребней. Южныя части ихъ сдвинуты къ востоку, по отношенію къ сѣвернымъ. Другими словами, силы, принявшія участіе въ построеніи лика земли, стре-

Digitized by Google

мились выдвинуть сушу къ сѣверному полюсу, повернувъ сѣверныя ея части справа налѣво. Сѣверныя и южныя части материковыхъ гребней раздѣлены замѣчательнымъ поясомъ разлома (фиг. 36). Поясъ этотъ проходитъ черезъ Вестъ-Индію, Средиземное море, Малайскій Архипелагъ. Вдоль этого пояса расположены значительныя океаническія глубины, глубокія внутреннія моря (Средиземное море); онъ характеризуется также интенсивной вулканической дѣятельностью. Другое такое кольцо



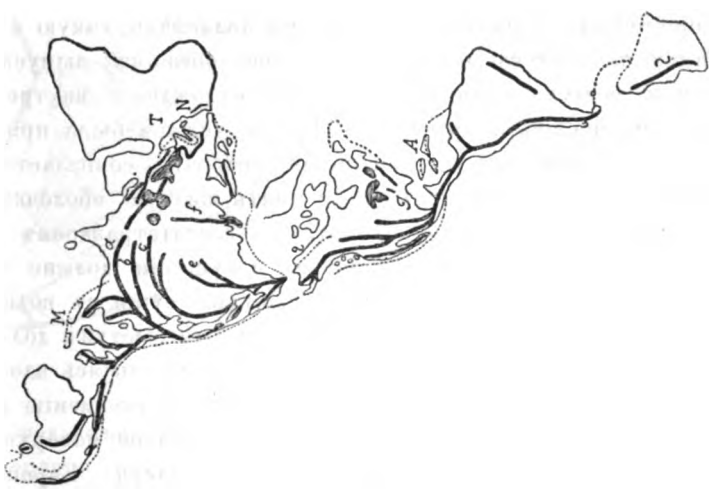
Фиг. 36.

огибаетъ Тихій океанъ, и его окружность также усѣяна рядомъ наиболѣе значительныхъ вулкановъ. Въ мѣстахъ пересѣченія этихъ двухъ поясовъ расположены настоящіе вулканическіе очаги (вулканы центральной Америки и вулканы Зондскихъ острововъ).

Въ противоположность материковому кольцу сѣвернаго полушарія можно указать водное кольцо, окружающее предполагаемый антарктическій материкъ. Отъ этого кольца выдаются къ сѣверу три рукава: Атлантическій, Тихій и Индійскій океаны.

Digitized by Google

Кромѣ этихъ главныхъ чертъ можно указать еще и болѣе мелкія особенности, а именно: 1) у юго-восточныхъ береговъ материковъ находится островъ или группа острововъ: Мадагаскаръ, Цейлонъ, Зондскій архипелагъ, Вестъ-Индскіе острова, Огненная земля, Тасманія и др.; 2) съ западной стороны материковъ можно видѣть заливы, болѣе или менѣе глубоко вдающіеся въ сушу: Балтійское море, Средиземное, Гвинейскій заливъ; 3) Атлантическій океанъ представляетъ какъ бы огромную рѣку, ограниченную съ востока и запада почти параллельными берегами; даже подводный гребень, идущій посерединѣ этого океана, слѣдуетъ, какъ увидимъ далѣе, вдоль направленія береговъ Стараго и Новаго свѣта; 4) если снять съ глобуса изображеніе материковъ и, сохраняя ихъ относительное положеніе, расправить на плоскости такъ, чтобы они были возможно меньше деформированы, то увидимъ (фиг. 37), что поясъ континентовъ



Фиг. 37.

расположенъ въ видѣ непрерывной линіи. Этотъ поясъ раздѣляетъ всѣ водныя поверхности на двѣ части: Тихій и Атлантическій океаны. Оба океана лишь въ двухъ мѣстахъ обладаютъ широкими и глубокими соединеніями. Побережья рѣзко отличаются другъ отъ друга. Побережье Тихаго океана весьма богато складчатыми горными кряжами, а Атлантическаго—сбросами. Направленіе береговъ Тихаго океана зависитъ отъ на-

Digitized by Google

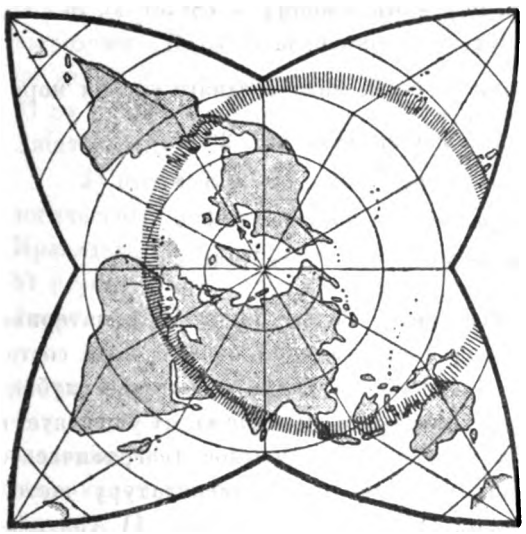
правленія горныхъ кряжей, а на противоположныхъ берегахъ эта зависимость незамѣтна. Это берегъ дисъюнктивный. Всѣ складчатые кряжи образуютъ основной стволъ съ развѣтвленіями съ правой стороны.

Гипотеза Грина. Выше мы сказали, что изученіе географическихъ гомологій должно дать указанія или, по крайней мѣрѣ, намеки, на законы образованія лика земли. Такое обобщеніе наблюденныхъ фактовъ стремится дать гипотеза Грина.

Существуетъ кристаллическая форма, называемая гексатетраэдромъ. Чтобы составить эту форму, возьмемъ тетраэдръ и каждую треугольную грань его замѣнимъ шестиугольной, и на каждой изъ нихъ построимъ шестиугольную пирамиду съ мало выдвигающейся вершиной. Если, вмѣсто прямолинейныхъ реберъ и плоскихъ граней, вообразимъ криволинейныя ребра и выпуклыя грани, то получимъ гексатетраэдръ съ кривыми гранями. У него также четыре выдающіяся вершины, соотвѣтствующія вершинамъ тетраэдра. По опытамъ Лаллемана, такую форму принимаютъ каучуковые шары при осторожномъ выпусканіи изъ нихъ воздуха. Земная кора, при охлажденіи внутренней массы, сокращалась и, по мнѣнію Грина, должна была принять форму гексатетраэдра, ось вращенія котораго совпадаетъ съ осью тетраэдра. Если бы съ земли снять жидкую оболочку, то она представила бы фигуру, сходную съ гексатетраэдромъ. При этомъ преобразованіи, въ сѣверномъ полушаріи должно было обнаружиться три симметричныхъ выступа суши съ воднымъ центромъ на полюсѣ; четвертый материковый выступъ долженъ явиться на южномъ полюсѣ. Расходясь и оканчиваясь заостреніями, они должны были дать мѣсто огромному скопленію водъ, образующихъ океаны. Такимъ образомъ, на земной поверхности должно образоваться четыре выступающихъ части: Европа съ Африкой, Азія съ Австраліей, обѣ Америки и предполагаемая Антарктика. Особенно выдаются сѣверныя части этихъ трехъ континентальныхъ паръ, которыя, вмѣстѣ съ подводными возвышенностями, соединяющими Старый и Новый свѣтъ, и составляютъ основу того материковаго кольца, которое окружаетъ сѣверный полюсъ. При переходѣ земной коры изъ шарообразной въ гексатетраэдрическую, три ея меридіональныя части выдались, т. е. удалились отъ оси вращенія; а часть коры между ними и Антарктикой опустилась, т. е. приблизилась къ оси вра-

Digitized by Google

щенія. Выдавшіяся части первой половины, стремясь сохранить прежнюю скорость вращенія, должны были отставать отъ общаго движенія земли; части второй половины, напротивъ того, получили стремленіе опережать движеніе земли съ запада на востокъ; вслѣдствіе этого, должно было произойти крученіе земли; южныя части материковъ оказались сдвинутыми къ востоку по отношенію къ сѣвернымъ, и вблизи экватора явился поясъ разлома. Основная идея Грина хорошо совпадаетъ съ дѣйствительнымъ распредѣленіемъ материковъ, какъ это можно видѣть изъ чертежа 38-го, представляющаго карту земли въ Штейнгаузерской звѣздной проэкціи. Съ точки зрѣнія этой гипотезы, материки должны были намѣтиться, какъ первоначальныя формы рельефа земли, на самыхъ раннихъ стадіяхъ ея жизни. Кромѣ того, сѣверныя части материковъ должны быть выдвинуты сильнѣе южныхъ по отношенію къ поверхности океановъ.



Фиг. 38.

Гипсометрическія ступени. Дѣйствительный рельефъ земной поверхности представляетъ рядъ ступеней, постепенно подымающихся отъ низшаго до высшаго предѣла, съ явнымъ преобладаніемъ среднихъ ступеней. По Wagner'у, можно различить слѣдующія террасы: 1) *Кульминаціонная поверхность*, занимающая 6%; къ этой поверхности принадлежатъ высоты, превышающія 1000 метровъ надъ уровнемъ моря; средняя ихъ высота 2200 метровъ надъ уровнемъ моря. 2) *Континентальное плато* (28.3%) высотою отъ 1000 до 200 метровъ и средней высотой 250 метровъ. 3) *Континентальное паденіе* (9%); высота отъ 200 метровъ надъ уровнемъ моря до 2300 метровъ подъ уровнемъ моря; средняя глубина 1300 метровъ. 4) *Океа-*

Digitized by Google

ническое плато (53.7%) отъ 2300 до 5000 метровъ подъ уровнемъ моря; средняя глубина 4100 метровъ. 5) *Океаническія депрессіи* (3%), лежащія ниже 5000 метровъ; средняя глубина 6000 метровъ. Если бы сравнять всѣ неровности земного рельефа, то полученный средній уровень лежалъ-бы на глубинѣ 2300 метровъ подъ уровнемъ моря; средняя же высота континентовъ равна 700 метровъ. Общая поверхность земли занимаетъ 510 милліоновъ квадратныхъ километровъ. Изъ нихъ извѣстны 489 милліоновъ; остаются совершенно недоступными 21 милліонъ (около 6%). Мы указали раньше, что въ сѣверномъ полушаріи удалось достигнуть 87° 6′ с. ш., а въ южномъ — 78° 50′ ю. ш. Это крайнія широты достигнутыя человѣкомъ.

Нѣкоторыя части суши лежатъ ниже средняго уровня моря:

Арало-Каспійская впадина на	26	м.,
Тиверіадское озеро	» 208	»,
Мертвое море (поверхность)	» 394	»,
Мертвое море (дно)	» 800	».

Океаны и ихъ протяженіе. Воды, омывающія материки и покрывающія три четверти всей земной поверхности, составляютъ *всемірный океанъ.* Части океана, болѣе или менѣе глубоко врѣзывающіяся въ сушу, называются *морями.* Существуетъ извѣстная классификація океановъ. Лондонское географическое общество установило общепринятую нынѣ номенклатуру частей океановъ: 1) Атлантическій, 2) Тихій, 3) Индійскій, 4) Арктическій и 5) Антарктическій. Установлены, вмѣстѣ съ тѣмъ, такъ называемыя, оффиціальныя границы океановъ:

1) Атлантическій — сѣверный и южный полярные круги, меридіаны мыса Горна и мыса Игольнаго.

2) Тихій — Беринговъ проливъ, южный полярный кругъ, меридіаны мыса Горна и южной оконечности Тасманіи.

3) Индійскій — южный полярный кругъ и меридіаны мыса Игольнаго и южной оконечности Тасманіи.

4) Арктическій — внутри сѣвернаго полярнаго круга.

5) Антарктическій — внутри южнаго полярнаго круга.

Но эта классификація имѣетъ характеръ искусственнаго построенія и не связана съ морфологическими особенностями океановъ и омываемой ими суши. Крюммель, въ основу своей

Digitized by Google

классификаціи, кладетъ систему теченій и другія физическія данныя, и, на этомъ основаніи, предлагаетъ раздѣлить моря на самостоятельныя и несамостоятельныя. Къ самостоятельнымъ онъ относитъ тѣ, которыя имѣютъ собственную систему теченій; таковы Атлантическій, Тихій и Индійскій океаны. Къ несамостоятельнымъ онъ относитъ тѣ, физическія свойства которыхъ зависятъ отъ океановъ, благодаря болѣе или менѣе широкому сообщенію съ послѣдними. Несамостоятельныя моря, въ свою очередь, подраздѣляются на:

1) *внутреннія*: a) съ однимъ выходомъ въ океанъ (Средиземное, Красное, Балтійское, Персидскій заливъ); b) со многими выходами (Карибское и Мексиканское) c) съ *однимъ* выходомъ по одной и со многими по другой сторонѣ (сѣверное полярное); d) со многими выходами на обѣихъ сторонахъ (Австралійско-Азіатское).

2) *окраинныя* или прибрежныя: a) мелкія и новѣйшаго геологическаго происхожденія (Нѣмецкое, Англійскій каналъ и Ирландское море, Восточно-Китайское и Печилійскій заливъ) и b) глубокія моря (Японское, Охотское, Берингово, заливъ Св. Лаврентія).

Антарктическій океанъ, какъ мало извѣстный, вовсе не принятъ во вниманіе.

Если придерживаться оффиціальныхъ границъ, то, по вычисленію Wagner'a, протяженіе различныхъ океановъ, въ тысячахъ километровъ, выразится слѣдующими числами:

Тихій океанъ съ морями	175464	тыс. квадр.	килом.,
Атлантическій океанъ съ морями .	90136	» »	» ,
Индійскій » » » .	74175	» »	» ,
С.-Ледовитый » » » .	12796	» »	» ,
Ю.-Ледовитый » » » .	12930	» »	» .
	365501	» »	»

Принимая поверхность Тихаго океана за единицу, получимъ:

Тихій океанъ	1.00,
Атлантическій океанъ .	0.51,
Индійскій » .	0.42,
С.-Ледовитый » .	0.07,
Ю.-Ледовитый » .	0.07 (?).

Digitized by Google

Если же за единицу принять поверхность всемірнаго океана, то:

Тихій океанъ составитъ	0.48	всей поверхности
Атлантическій океанъ составитъ .	0.25	» »
Индійскій » » .	0.20	» »
С.-Ледовитый » » .	0.03	» »
Ю.-Ледовитый » » .	0.03 (?)	» »

Сопоставимъ съ этимъ числа для поверхности различныхъ частей суши въ тысячахъ квадратныхъ километровъ:

	Материкъ.	Острова.	Общее.
Европа	9219	787	10006
Азія	41480	2701	44181
Африка	29205	617	29822
Австралія	7601	1297	8898
С.-Америка	19982	4074	24056
Ю.-Америка	17629	154	17783
Полярная область (80°—			
90° с. ш.	619 ?		619
и 60°—90° ю. ш.) . .	9000 ?		9000
Океаническіе острова .	84		84
Сумма	—	—	144449

Расчлененіе береговой линіи. Суша отдѣляется отъ воды *береговой линіей*. Весьма важное значеніе въ жизни народовъ, въ ихъ взаимныхъ отношеніяхъ, имѣетъ большее или меньшее развитіе береговой линіи. Развитіе или расчлененіе береговой линіи можно опредѣлить, вычисляя, сколько единицъ площади приходится на каждую единицу длины берега. Напримѣръ, если площадь выразить въ квадратныхъ километрахъ, а береговую линію въ километрахъ длины, то на 1 километръ берега приходится квадратныхъ километровъ площади:

въ Европѣ	приходится	89	квадр.	кил.	на	1	кил.	берега,
» Азіи	»	763	»	»	»	»	»	»	,
» Африкѣ	»	1420	»	»	»	»	»	»	,
» С.-Америкѣ	»	407	»	»	»	»	»	»	,
» Ю.-Америкѣ	»	689	»	»	»	»	»	»	,
» Австраліи	»	534	»	»	»	»	»	»	.

Digitized by Google

Нагель предложилъ другой способъ. Онъ сравниваетъ дѣйствительный обводъ даннаго материка съ обводомъ круга, имѣющаго туже площадь. Пусть площадь материка равна F, а обводъ его u. Положимъ, что u_1 есть обводъ круга, площадь котораго равна F. Расчлененіемъ материка Нагель называетъ

$$E=\frac{u-u_1}{u}.\ 100.$$

Обозначимъ черезъ R—радіусъ круга, площадь котораго равна F; тогда

$$F=\pi R^2;\ R=\sqrt{\frac{F}{\pi}},$$

$$u_1=2\pi R=2\pi\sqrt{\frac{F}{\pi}},$$

слѣдовательно,

$$E=\frac{u-2\pi\sqrt{\frac{F}{\pi}}}{u}.\ 100.$$

На основаніи этой формулы, развитіе береговъ выразится:

Европа . . .	73%	С.-Америка . .	65%
Азія	65%	Ю.-Америка .	33%
Африка . . .	28%	Австралія . .	31%.

Изъ таблицы этой видно, что дѣйствительный обводъ Европы на 73% больше, чѣмъ обводъ круга, имѣющаго такую же площадь, какъ материкъ Европы. Наибольшею изрѣзанностью отличается береговая линія Европы, особенно берега Средиземнаго моря, этой колыбели цивилизаціи. Крюммель вноситъ небольшую поправку въ способъ Нагеля. Онъ предлагаетъ сравнивать обводъ материка съ обводомъ или основаніемъ шарового сегмента, имѣющаго поверхность равную площади материка. Пользуясь этимъ пріемомъ, Krümmel вычислилъ развѣтвленіе береговъ различныхъ океановъ и морей. Приведемъ здѣсь два—три числа:

Атлантическій океанъ	. . . . .	45.8%
Индійскій »	. . . . .	42.0
Тихій »	. . . . .	30.6

Digitized by Google

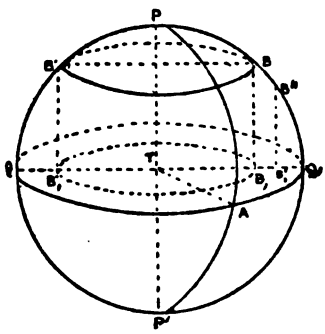
Средиземное море	77.0%
Англійскій каналъ и Ирландское море	66.7
Балтійское море	64.4
Японское »	41.1
Нѣмецкое »	28.9

Понятіе о географическихъ проекціяхъ. Точное воспроизведеніе въ маломъ видѣ всѣхъ деталей земного лика можно получить лишь на поверхности, аналогичной съ поверхностью земли, т. е. на поверхности эллипсоида или, въ виду незначительнаго сжатія земли, на поверхности шара. На такомъ шарѣ нужно провести рядъ меридіановъ и параллельныхъ круговъ (географическую сѣтку) и, по соотвѣтствующимъ широтамъ и долготамъ, нанести очертанія материковъ, морей и другія подробности. Такое изображеніе земного лика называется *глобусомъ*. На обыкновенномъ глобусѣ, всѣ пункты наносятся въ предположеніи, что они находятся на одной и той же математической поверхности шара, т. е. отнесены къ уровню океана. Существуютъ еще рельефные глобусы, на которыхъ показаны не только относительныя положенія различныхъ точекъ на поверхности шара, но и рельефъ мѣстности, т. е. неровности по вертикальному направленію (горы, впадины и т. п.). Большія удобства, для различнаго рода работъ, представляютъ географическія карты, т. е. изображенія всей земной поверхности, или отдѣльныхъ ея частей, на плоскости. Но поверхность шара нельзя развернуть на плоскости безъ разрывовъ и складокъ; приходится, поэтому, прибѣгать къ искусственнымъ построеніямъ или различнымъ системамъ *географическихъ проекцій*. Основная задача при построеніи картъ заключается въ томъ, чтобы построить на бумагѣ географическую сѣть, т. е. систему меридіановъ и параллелей. Дальнѣйшая работа сходна съ той, которая примѣняется при построеніи глобуса: на полученной сѣткѣ останется нанести, по широтамъ и долготамъ, основные пункты, а дальнѣйшія детали связать съ основными пунктами топографически. Существуетъ большое разнообразіе проекцій, но ни одна изъ нихъ не даетъ возможности сохранить въ точности изображеніе данной мѣстности. Изложеніе ученія о проекціяхъ выходитъ далеко за предѣлы нашего курса. Ограничимся только указаніемъ общей идеи, лежащей въ основѣ этой части геодезіи.

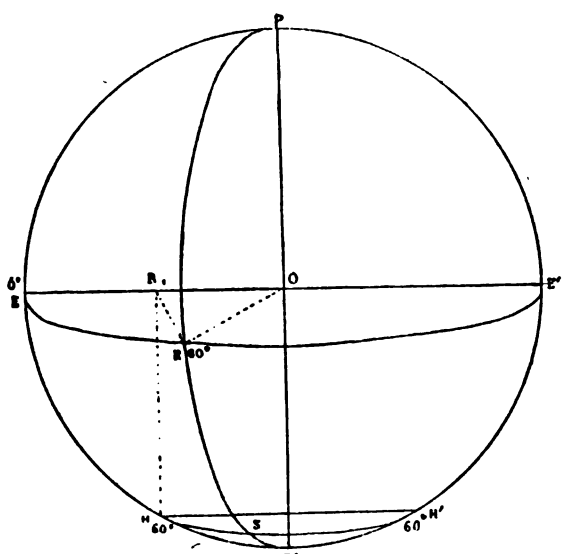
Digitized by Google

Сущность метода проекцій можно видѣть изъ краткаго обозрѣнія простѣйшихъ системъ.

1) *Проекція ортографическая.* Ортографической проекціей какой-нибудь точки на данную плоскость называется подошва перпендикуляра, опущеннаго изъ этой точки на данную плоскость (плоскость проекціи). Если мы изъ всѣхъ точекъ какого-нибудь контура опустимъ перпендикуляры на плоскость проекціи, то основанія ихъ образуютъ проекцію нашего контура. Можно принять за плоскость проекціи какую угодно плоскость, напримѣръ, плоскость экватора, плоскость одного изъ меридіановъ, плоскость горизонта и т. п. Если проектируемъ на плоскость экватора сѣверное полушаріе, то (фиг. 39) экваторъ и всѣ параллели представятся рядомъ концентрическихъ круговъ. Полюсъ проектируется въ видѣ точки, лежащей въ центрѣ круга экватора. Меридіаны изобразятся равноотстоящими радіусами этого круга. Если (фиг. 40) плоскость перваго меридіана *PEP'E'* принимается за плоскость проекціи, то меридіанъ этотъ изобразится въ формѣ круга. Ось земли выразится прямой линіей *PP'*. Экваторъ и всѣ параллельные круги, плоскости



Фиг. 39.



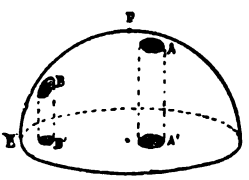
Фиг. 40.

Digitized by Google

коихъ перпендикулярны къ плоскости проекціи, представятся рядомъ, параллельныхъ между собою, прямыхъ линій. Проекція какого-нибудь меридіана PRP' будетъ имѣть форму эллипса, большая ось котораго равна PP'; малая же ось его OR_1 получится, если мы изъ точки R опустимъ перпендикуляръ RR_1 на плоскость экватора. Очевидно, что

$$OR_1 = ORCos\lambda,$$

гдѣ λ—долгота точки R. Въ такой, именно, проекціи представляются намъ поверхность солнца и луны, такъ какъ, вслѣдствіе большихъ разстояній этихъ свѣтилъ отъ земли, линіи, идущія къ различнымъ точкамъ ихъ поверхности, можно считать перпендикулярными къ плоскости ихъ видимаго контура. Не трудно убѣдиться, что не всѣ части проектируемаго полушарія сохраняютъ на ортографической картѣ относительные свои размѣры. Какъ видно изъ фигуры 41, контуръ A, лежащій въ центральной части, почти сохраняетъ въ проекціи A' свои размѣры. Проекція же B' контура, лежащаго ближе къ краю, деформирована и тѣмъ сильнѣе, чѣмъ контуръ B лежитъ ближе къ краю.



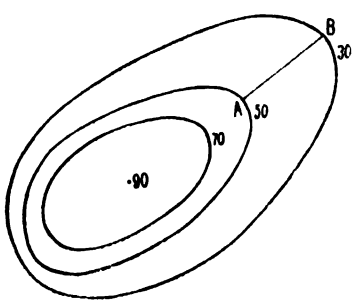
Фиг. 41.

Ортографическая проекція примѣняется при составленіи *плановъ*, т. е. изображеній небольшихъ участковъ земной поверхности. При составленіи плановъ, мѣстность проектируется на поверхность сфероида; но если участокъ невеликъ, то эта поверхность совпадаетъ съ плоскостью горизонта. Въ томъ частномъ случаѣ, когда мѣстность, представленная на планѣ, совершенно горизонтальна, всѣ размѣры различныхъ протяженій на планѣ пропорціональны ихъ дѣйствительнымъ размѣрамъ, т. е. всѣ уменьшены въ одно и то же число разъ. Планы составляются въ извѣстномъ *масштабѣ*. Принимаютъ, что каждый дюймъ на бумагѣ изображаетъ извѣстное число саженъ или верстъ въ натурѣ. На всякомъ планѣ обыкновенно помѣщенъ масштабъ, въ которомъ составленъ чертежъ. Чертятъ линію, раздѣленную на дюймы и линіи и надписываютъ: столько-то саженъ или верстъ въ одномъ дюймѣ. Зная масштабъ, въ которомъ составленъ планъ, можно, при помощи циркуля, опредѣлить разстоянія между различными пунк-

Digitized by Google

тами, или вѣрнѣе, между ихъ проекціями. Иногда на планѣ не отмѣчены размѣры масштаба, а написана нѣкоторая дробь, напримѣръ, $\frac{1}{8400}$, $\frac{1}{16800}$ и т. д. Зная эту дробь, легко возстановить масштабъ. Числитель этой дроби равенъ единицѣ, а знаменатель показываетъ, во сколько разъ на планѣ уменьшена каждая линія, по сравненію съ ея дѣйствительной длиной. Напримѣръ, если планъ составленъ въ масштабѣ 200 саженъ въ дюймѣ, то, очевидно, каждая линія, при ея переносѣ на бумагу, уменьшена въ $84 \times 200 = 16800$ разъ. Въ этомъ случаѣ на чертежѣ пишутъ $\frac{1}{16800}$. Обратно, если на чертежѣ мы встрѣчаемъ дробь $\frac{1}{42000}$, то для того, чтобы опредѣлить масштабъ чертежа, нужно только $42000 : 84 = 500$ саженъ въ дюймѣ.

Но планъ не даетъ никакого представленія о рельефѣ мѣстности и ея неровностяхъ. Рельефъ мѣстности опредѣляется при посредствѣ гипсометрической съемки. Представимъ себѣ, что мы опредѣлили превышеніе ряда точекъ земной поверхности надъ уровнемъ моря или надъ уровнемъ какой-либо другой поверхности, принятой за исходную. Допустимъ, кромѣ того, что положеніе этихъ точекъ на планѣ также опредѣлено. Нанесемъ эти точки на планъ и возлѣ каждой точки напишемъ ея высоту. Соединимъ теперь точки, лежащія на одной и той же высотѣ, непрерывными кривыми линіями, проводя эти кривыя, напримѣръ, черезъ каждыя 20 саженъ (фиг. 42). Эти кривыя линіи называются *горизонталями*. Эти линіи представляютъ проекціи сѣченій даннаго рельефа горизонтальными плоскостями, проведенными другъ отъ друга на разстояніи 20 саженъ, считая по вертикальному направленію. Сама карта называется *гипсометрической*. Изъ чертежа 42 можно видѣть характеръ рельефа. Въ центрѣ находится холмъ, высшая точка котораго лежитъ на высотѣ 90 саженъ; на сѣ-



Фиг. 42.

Digitized by Google

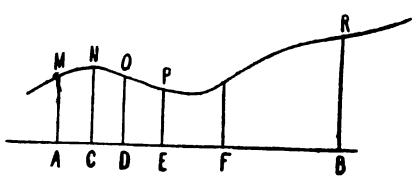
веро-западной сторонѣ спускъ очень крутой; на юго-востокѣ переходъ отъ высоты 60 саженъ къ высотѣ 30 саженъ очень пологъ. Имѣя такую карту, можно опредѣлить даже уголъ наклона въ каждой точкѣ мѣстности. Напримѣръ, нужно знать уголъ наклона въ точкѣ *A*. Для этого, въ точкѣ *A* проведемъ нормаль *AB* къ горизонтали и измѣримъ длину линіи *AB* помощью циркуля и масштаба; положимъ, что это разстояніе равно 15 саженямъ; это есть разстояніе между горизонтальными проекціями точекъ *A* и *B*. Но превышеніе точки *A* надъ точкой *B* составляетъ 20 саженъ; если уголъ, составленный прямой *AB* съ горизонтомъ, обозначимъ черезъ α, то

$$tang\alpha = \frac{20}{15} = \frac{4}{3};\ \text{откуда}\ \alpha = 53^\circ\ 7',$$

а дѣйствительная длина линіи *AB* по *склону* будетъ:

$$AB = \frac{15}{Cos\alpha} = 24.99\ \text{саж.}$$

Иногда для характеристики рельефа и неровностей мѣстности прибѣгаютъ къ другому способу графическаго изображенія, а именно, къ способу *профилей*. Профиль есть изображеніе сѣченія извѣстнаго рельефа по опредѣленному направленію вертикальной плоскостью. Для построенія профиля по извѣстному направленію, опредѣляютъ, помощью нивеллировки, высоту пунктовъ, относительно начальной точки. Для изображенія профиля на бумагѣ (фиг. 43), прочерчиваютъ избранное направленіе *AB* и на этой прямой, по масштабу, отмѣчаютъ точки *A*, *C*, *D*, въ которыхъ опредѣлены высоты; изъ этихъ точекъ возставляютъ перпендикуляры къ прямой *AB*, на нихъ откладываютъ части, пропорціональныя измѣреннымъ высотамъ и оконечности соединяютъ непрерывной кривой *MNOPR*. Если желаютъ сохранить относительные размѣры, какъ въ горизонтальномъ, такъ и въ верти-

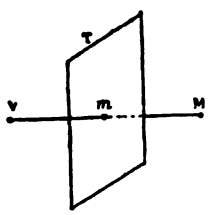


Фиг. 43.

Digitized by Google

кальномъ направленіи, то всѣ построенія дѣлаютъ въ одномъ и томъ же масштабѣ.

2) *Стереографическая проекція.* Возьмемъ (фиг. 44) точку V и какую-нибудь плоскость T; если глазъ находится въ точкѣ V, то точка m пересѣченія луча, идущаго отъ глаза въ точку M, съ плоскостью T, называется *стереографической* или *перспективной* проекціей точки M на картинную плоскость T. На земной поверхности мы можемъ, подобнымъ образомъ, проектировать на плоскость экватора, предполагая, что глазъ находится въ одномъ изъ полюсовъ или на плоскость меридіана, въ предположеніи, что глазъ помѣщенъ на оконечности радіуса, проведеннаго изъ центра земли, перпендикулярно къ картинной плоскости.



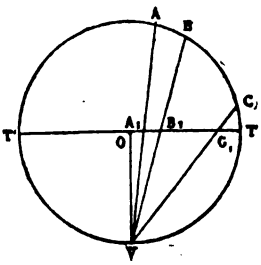
Фиг. 44.

Нетрудно показать, что стереографическая проекція обладаетъ слѣдующими двумя свойствами: 1) стереографическая проекція сохраняетъ углы, т. е. уголъ между двумя направленіями на шарѣ равенъ углу между ихъ проекціями; 2) стереографическая проекція малаго круга на шарѣ есть тоже кругъ, коего центръ представляетъ проекцію вершины прямого конуса, описаннаго около шара вдоль даннаго круга.

Если картинной плоскостью служитъ плоскость экватора, а глазъ находится въ южномъ полюсѣ, то экваторъ проектируется въ формѣ круга, ось—въ видѣ точки, лежащей въ центрѣ этого круга. Меридіаны начертятся, какъ рядъ прямыхъ линій (радіусовъ), составляющихъ между собою углы, равные разности ихъ долготъ. На основаніи второго свойства, проекціи параллелей выразятся рядомъ концентрическихъ круговъ. Если картинная плоскость совпадаетъ съ плоскостью меридіана, а глазъ находится на экваторѣ въ разстояніи 90^0 отъ того же меридіана, то сѣтка имѣетъ другой видъ. Ось земли и тотъ меридіанъ, на которомъ находится глазъ, проектируются по прямой линіи. Первый меридіанъ представится въ видѣ круга, а остальные меридіаны изобразятся тоже въ формѣ дугъ круга, имѣющихъ общую хорду. Стереографическая проекція сохраняетъ углы. Если возьмемъ на поверхности земли настолько небольшой контуръ, что его можно считать плоскимъ, то въ проекціи получается фигура подобная. Очевидно, далѣе, что наиболѣе деформированы тѣ

Digitized by Google

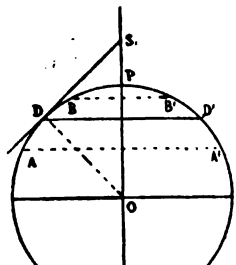
части, которыя лежатъ по серединѣ, и деформація уменьшается къ краямъ карты (фиг. 45).



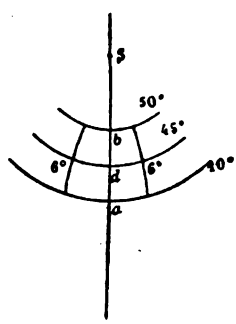
Фиг. 45.

Остановимся еще вскользь на двухъ проекціяхъ.

Представимъ себѣ, что нужно составить карту нѣкоторой части земной поверхности, расположенной, напримѣръ, между 40° и 50° широты и между 30° и 40° долготы. Проведемъ (фиг. 46) параллели AA', DD' и BB', лежащія подъ 40°, 45° и 50° широты и вообразимъ себѣ прямой конусъ, основаніе котораго составляетъ параллель DD', а вершина s находится на продолженіи земной оси. Если мысленно продолжимъ плоскости всѣхъ земныхъ меридіановъ до пересѣченія съ поверхностью конуса, то линіи пересѣченія совпадутъ съ производящими конуса. Развернемъ этотъ конусъ на плоскости (фиг. 47) и положимъ, что линія sd есть производящая, проходящая черезъ середину страны. Положимъ, далѣе, что дуга, проходящая черезъ точку d, есть основаніе развернутаго конуса, а слѣдовательно, соотвѣтствуетъ параллели, проходящей также черезъ середину страны. Длину производящей SD легко вычислить изъ формулы $SD=R\,Cotang\varphi$, гдѣ φ—широта точки D. Эту длину нужно построить на бумагѣ въ извѣстномъ масштабѣ. Отложимъ отъ точки d, въ томъ же масштабѣ, вверхъ и внизъ, длины db и da, равныя разстояніямъ DB и DA, вычисленнымъ по формулѣ



Фиг. 46.



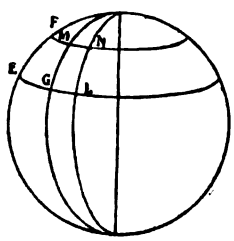
Фиг. 47.

$$DA=DB=\frac{2\pi R}{360}.5$$

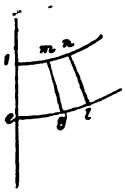
и изъ точки s опишемъ дуги радіусами sb и sa. Эти дуги дадутъ графическое изображеніе параллелей BB' и AA'. Остается только построить меридіаны. Для этого

Digitized by Google

(фиг. 47) на дугѣ, проходящей черезъ точку *d*, будемъ откладывать, въ прежнемъ масштабѣ, вправо и влѣво, длины, равныя одному, двумъ и т. д. градусамъ этой параллели. Точно также на дугахъ, проходящихъ черезъ точки *b* и *a*, отложимъ длины, равныя дѣйствительной длинѣ одного, двухъ и т. д. градусовъ этихъ параллелей. Если точки дѣленія соединимъ непрерывными кривыми, то получимъ сѣтку, изображенную на фиг. 47. Въ этой системѣ проекцій, во-первыхъ, линіи, изображающія меридіаны, приблизительно перпендикулярны къ параллелямъ, что соотвѣтствуетъ дѣйствительности; во-вторыхъ, въ этой проекціи сохраняются площади, такъ какъ (фиг. 48) какая-нибудь площадь *MNGL* на шарѣ и соотвѣтствующая ей площадь *mngl* на картѣ (фиг. 49) выражаются одними и тѣми же числами.

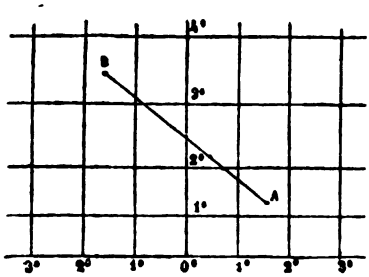


Фиг. 48.



Фиг. 49.

Морскія карты построены обыкновенно въ проекціи Меркатора. Представимъ себѣ, что земной шаръ обернутъ прямой цилиндрической поверхностью, соприкасающейся съ шаромъ по экватору. Плоскости меридіановъ продолжимъ до пересѣченія съ цилиндрической поверхностью. Въ пересѣченіи получимъ производящія цилиндра. Развернемъ теперь цилиндръ, въ уменьшенномъ видѣ, на плоскости бумаги. Тогда меридіаны представятся въ видѣ ряда равноотстоящихъ прямыхъ линій, параллельныхъ между собою и перпендикулярныхъ къ линіи, изображающей экваторъ (фиг. 50). Если бы мы мысленно продолжили плоскости параллелей до пересѣченія съ поверхностью цилиндра, то на развернутомъ цилиндрѣ параллели выразились бы рядомъ прямыхъ, параллельныхъ экватору; но разстоянія между равноотстоящими на земномъ шарѣ параллелями, на бумагѣ, уменьшались бы по мѣрѣ перехода отъ экватора къ полюсамъ. Нужно замѣтить, что моряки



Фиг. 50.

Digitized by Google

имѣютъ обыкновеніе направлять свой курсъ такимъ образомъ, чтобы онъ пересѣкалъ всѣ меридіаны подъ однимъ и тѣмъ же угломъ. Кривая, пересѣкающая всѣ меридіаны подъ одинаковыми углами, называется *локсодромой*. Она отлична отъ кратчайшаго разстоянія между двумя точками земной поверхности, которое выражается дугой большого круга. Чтобы это условіе было выполнено на картѣ, необходимо различныя параллели начертить такимъ образомъ, чтобы разстояніе D каждой изъ нихъ отъ экватора удовлетворяло уравненію

$$D = K \log \left(45^0 + \frac{\varphi}{2}\right),$$

гдѣ φ—широта параллели, а K—постоянная величина. Для вычисленія величинъ D существуютъ особыя таблицы [1]). Изъ формулы видно, что разстоянія между равноотстоящими на земной поверхности параллелями на картѣ постепенно увеличиваются. Эта проекція называется *проекціей Меркатора*. Локсодрома, соединяющая двѣ точки A и B земной поверхности, выразится прямой линіей AB, проведенной на картѣ черезъ данныя двѣ точки. Помощью транспортира можно опредѣлить уголъ, составленный локсодромой и меридіанами. Этотъ уголъ и дастъ курсъ корабля [2]).

Рѣшимъ еще одну задачу практическаго характера. Даны на земномъ шарѣ двѣ точки A и B, широты и долготы которыхъ соотвѣтственно равны φ_1 и φ_2, λ_1 и λ_2; опредѣлить разстояніе между этими двумя точками, считая по дугѣ большого круга. Существуетъ правило Чебышева, примѣнимое къ среднимъ широтамъ:

1) выразите разности широтъ и долготъ данныхъ точекъ въ минутахъ и удвойте разность широтъ;

2) изъ двухъ величинъ — разность долготъ и удвоенная разность широтъ — помножьте меньшую на 3, большую на 7 и сложите оба произведенія;

3) итогъ, раздѣленный на 8, дастъ требуемое разстояніе

---

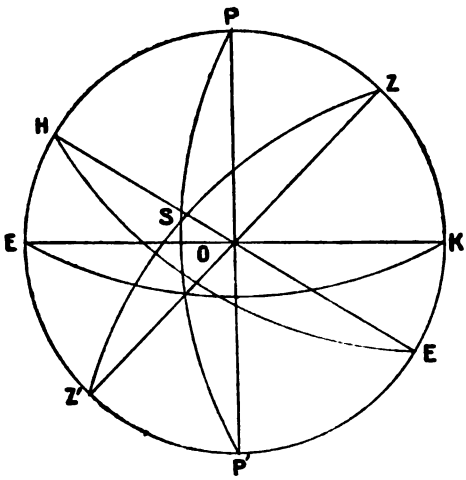
[1]) Ждановъ. Таблицы меридіональныхъ частей для построенія меркаторскихъ картъ. Спб. 1890.

[2]) Подробное изложеніе ученія о проекціяхъ можно найти въ сочиненіяхъ, указанныхъ ниже.

Digitized by Google

UNIV. OF CALIFORNIA

Но задачу эту можно рѣшить аналитически. Для этого вспомнимъ здѣсь одну формулу сферической тригонометріи. Проведемъ на шарѣ три большихъ круга (фиг. 51) PKP', PSP' и ZSZ'. Пересѣкаясь, они образуютъ сферическій треугольникъ PZS, между частями котораго существуетъ слѣдующее соотношеніе:



Фиг. 51.

$$Cos ZS = Cos PS Cos PZ + Sin PS Sin PZ Cos SPZ.$$

Зная это, возвратимся къ нашей задачѣ. Черезъ точки A и B и полюсъ земли P проведемъ большіе круги (меридіаны) и точки A и B соединимъ также дугой большого круга. Получимъ сферическій треугольникъ APB, въ которомъ

$$PA = 90 - \varphi_1,\ PB = 90 - \varphi_2,\ \text{уголъ } APB = \lambda_1 - \lambda_2,$$

слѣдовательно,

$$Cos AB = Sin\varphi_1 Sin\varphi_2 + Cos\varphi_1 Cos\varphi_2 Cos(\lambda_1 - \lambda_2).$$

Изъ этого уравненія вычислимъ дугу AB въ градусахъ, а умножая на среднюю длину одного градуса большого круга земного шара, получимъ разстояніе AB въ линейныхъ единицахъ. Если $\varphi_1 = \varphi_2$, то

$$Cos AB = Sin^2\varphi_1 + Cos^2\varphi_1 Cos(\lambda_1 - \lambda_2)$$

или

$$Sin\frac{AB}{2} = Cos\varphi_1 Sin\frac{\lambda_1 - \lambda_2}{2}$$

Литературныя указанія. Въ заключеніе, приведемъ списокъ главнѣйшихъ пособій, которыя могутъ служить для болѣе подробнаго ознакомленія съ вопросами, затронутыми въ настоящемъ «Введеніи». Въ каждой группѣ пособій, отмѣчены звѣздочкой сочиненія, изученіе которыхъ не требуетъ знанія высшей математики.

Digitized by Google

A) *Курсы космографіи.*

1) * Щербакъ. Курсъ космографіи для *среднихъ* учебныхъ заведеній. Нижній-Новгородъ. 1903.

2) * Pichot. Traité élémentaire de cosmographie. Paris. 1873.

3) Tisserand. Leçons de cosmographie. Paris. 1899.

4) * Wilhelm Schmidt. Astronomische Erdkunde. Leipzig. 1903.

B) *Общее обозрѣніе мірозданія.*

5) * Мейеръ. Мірозданіе. Спб. 1902.

6) * Арреніусъ. Физика неба. Одесса. 1904.

7) * Ньюкомбъ и Энгельманъ. Астрономія въ общедоступномъ изложеніи. Спб. 1896.

8) * Юнгъ Солнце. Спб. 1890.

C) *Видъ и величина земли.*

9) Витковскій. Практическая геодезія. Спб. 1898.

10) Кларкъ. Геодезія. Перев. Витковскаго. Спб. 1890.

11) Helmert. Figur der Erde. Berlin. 1878.

12) Herz. Geodäsie. Leipzig. 1905.

13) Adamczyk. Compendium der Geodäsie. Leipzig. 1901.

14) Helmert. Die mathematischen und physikalischen Theorien der höheren Geodäsie. I—II Theile. Leipzig. 1884.

15) * Рядъ статей въ журналѣ «Geographisches Jahrbuch» redig. von Wagner.

D) *Географическое опредѣленіе мѣстъ, астрономическіе и справочные календари.*

16) * Для приблизительнаго опредѣленія поправки часовъ и широты: a) Солнечный треугольникъ Глазенапа и b) Солнечное кольцо Глазенапа (Извѣстія Русскаго астрономическаго общества).

17) Саничъ. Приложеніе практической астрономіи къ географическому опредѣленію мѣстъ. Спб. 1868.

18) * Marcuse. Handbuch der geographischen Ortsbestimmung für Geographen und Forschungsreisende. Braunschweig. 1905.

19) Herr. Lehrbuch der sphärischen Astronomie in ihrer Anwendung auf geographische Ortbestimmung. Wien. 1887.

20) Güssfeldt. Grundzüge der astronomisch-geographischen Ortsbestimmung. Braunschweig. 1902.

Digitized by Google

21) Простой способъ опредѣленія широты. Морской Сборникъ, 1905, № 9.

22) Marcuse. Die Methodischen Fortschritte der geographischen, geodätischen, nautischen und aeronautischen Ortsbestimmung. Gotha. 1906.

23) *Gelcich. Die astronomische Bestimmung der geogr. Koordinaten. Leipzig. 1906.

24) Русскій астрономическій календарь, издаваемый ежегодно нижегородскимъ кружкомъ любителей астрономіи и физики.

25) Berliner astronomischer Jahrbuch. Berlin.

26) Nautical Almanac. London.

27) Connaissance de temps. Paris.

E) *Напряженіе тяжести; аномаліи тяжести.*

28) Helmert. Theorien der höheren Geodäsie. Leipzig. 1884.

29) Hecker. Bestimmung der Schwerkraft auf den Atlantischen Ozean sowie in Rio de Janeiro, Lissabon und Madrid. Berlin. 1903.

30) Herr. Geodäsie. Leipzig. 1905.

31) Кларкъ. Геодезія. Спб. 1890.

32) Adamczyk. Compendium der Geodäsie. Leipzig. 1901.

33) Helmert. Bericht über die relativen Messungen der Schwerkraft mit Pendelapparaten. Neuchatel. 1896.

34) *Bestimmung der Polhöhe und der Intensität der Schwerkraft von der Ostsee bei Kolberg bis zur Schneekoppe. Berlin. 1896.

35) *Слудскій. Къ вопросу о мѣстной московской аттракціи. Извѣстія И. Р. Геогр. Общества, 1893 г., вып. IV, стр. 269.

36) *Стебницкій. Опредѣленіе ускоренія силы тяжести въ Крыму и въ Швейцаріи. Извѣстія И. Р. Геогр. Общества, 1894, вып. I, стр. 114.

37) *Стебницкій. Неправильное уклоненіе отвѣсной линіи около Москвы. Извѣстія И. Р. Геогр. Общества, 1894, вып. II, стр. 225.

38) *Стебницкій. Объ отклоненіи отвѣсныхъ линій притяженіемъ Кавказскихъ горъ. Приложеніе къ XVII тому «Записокъ Имп Академіи Наукъ», 1870.

39) *Витковскій. Отклоненіе отвѣсной линіи въ Выборгѣ (Записки В. Т. отдѣла Гл. Штаба, часть XLII (1880).

Digitized by Google

40) *Лебедевъ. Объ отклоненіи отвѣсныхъ линій на Балканскомъ полуостровѣ (Записки В. Т. отдѣла Гл. Штаба, часть LIII (1896).

41) Haasemann. Bestimmung der Intensität der Schwerkraft im Harze. Berlin. 1905.

42) Рядъ отдѣльныхъ статей въ журналахъ:

a) Veröffentlichung des Kön. Preussischen Geodätischen Instituts. Berlin.

b) *Gerland. Beiträge zur Geophysik.

c) *Wagner. Geographisches Jahrbuch.

F) *Горизонтальный маятникъ и сейсмическія движенія.*

43) *Leutsch. Geschichte, Theorie und Anwendung des Horizontalpendel. Karlsruhe. 1898.

44) *Rebeur-Paschwitz. Das Horizontalpendel. Nova Acta academiae Caesareae Leopoldino-Carolinae. Tomus 60. s. 1—213.

45) *Левицкій. Страсбургскій тяжелый маятникъ. Спб. 1902.

46) *Rossi. La Meteorologia endogena. Roma. 1882.

47) *Canu. Précis de météorologie endogène. Paris. 1894.

48) *Sieberg. Handbuch der Erdbebenkunde. Braunschweig. 1904.

49) *Neumayer. Die Erdgeschichte. Berlin. 1890.

50) Рядъ статей въ журналахъ:

a) *Gerland. Beiträge zur Geophysik.

b) *Wagner. Geographisches Jahrbuch.

c) Annali di Ufficio Centrali di meteorologia e di geodynamica. Roma.

51) *Montessus de Ballore. Les tremblements de terre. Paris. 1906.

52) *Bosch. Le pendule horizontal lourd de Strasburg. Bruxelles. 1902.

G) *Земная кора и лики земли.*

53) *Брюкнеръ. Земная кора. 1902.

54) *Sonklar. Allgemeine Orographie. 1870.

55) *Suess. Antlitz der Erde и французскій переводъ «La face de la terre». Paris. 1905.

56) *Lapparant. Leçons de géographie physique. Paris. 1896.

57) *Krümmel. Vergleichende Erdkunde.

Digitized by Google

58) * Penck. Morphologie der Erdoberfläche. Stuttgart. 1894.

59) * Supan. Grundzüge der physischen Erdkunde. Leipzig. Русскій переводъ подъ редакціей Анучина. Москва. 1903.

60) * Мушкетовъ. Физическая геологія, ч. I. Спб. 1899.

H) *Географическія проекціи, составленіе картъ и плановъ.*

61) * Общедоступное краткое руководство въ «Sammlung Göschen» подъ заглавіемъ «Kartenkunde von E. Gelcich, F. Sauter und P. Dinse». Leipzig. 1901.

62) Витковскій. Практическая геодезія. Спб. 1898, главы XV—XVI.

63) Zöppritz. Leitfaden der Kartenentwurfslehre. Leipzig. 1884.

64) Zondervan. Allgemeine Kartenkunde. 1901.

65) Vital. Die Kartenentwurfslehre. Leipzig. 1903.

66) * Витковскій. Топографія. Спб. 1904.

67) Jordan. Handbuch der Vermessungskunde. Stuttgart. 1878.

68) Wagner. Leitfaden durch den Entwickelungsgang der Seekarten. Bremen. 1895.

I) *Справочныя числа по астрономіи и физическому землевѣдѣнію.*

69) * Annuaire publié par le bureau de longitudes. Paris.

Digitized by Google

I.

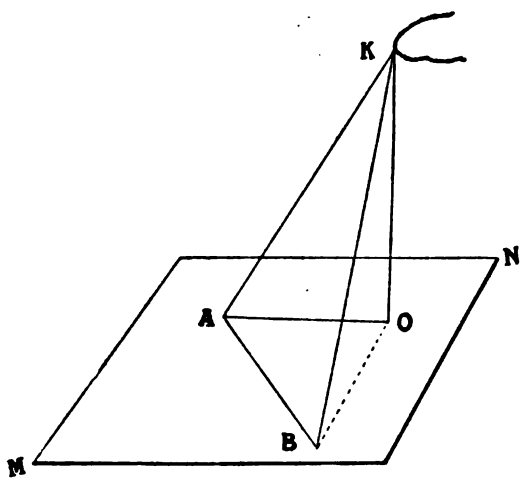
Распространеніе и составъ атмосферы.

Метеорологическое распространеніе атмосферы. Высота облаковъ. Красная заря 1883 года. Методъ Alhazen'a. Высота загоранія метеоритовъ. Исчезаніе голубой окраски неба. Полярныя сіянія. Затменіе луны. Уменьшеніе плотности съ высотою. Общіе результаты. Процентное содержаніе основныхъ газовъ. Углекислота и другіе газы. Атмосферная пыль и пылемѣръ Айткена. Литературныя указанія.

Метеорологическое распространеніе атмосферы. Относительно распространенія атмосферы возможны два воззрѣнія: 1) атмосфера наша, постепенно разрѣжаясь, на извѣстной высотѣ имѣетъ свой предѣлъ и 2) междупланетное пространство выполнено веществомъ въ состояніи крайняго разрѣженія; вещество это, у поверхности планетъ, уплотняется, образуя болѣе или менѣе мощные слои атмосферы. На основаніи второго воззрѣнія, атмосфера не составляетъ исключительной принадлежности земного шара. Подобныя же газообразныя оболочки различной плотности окружаютъ также и другія небесныя тѣла. Оболочки эти принимаютъ участіе въ суточномъ и годовомъ движеніи планетъ. Съ этой точки зрѣнія, атмосфера земли не имѣетъ предѣла въ математическомъ смыслѣ этого слова; граница ея не является опредѣленной, какъ напр., дневная поверхность водныхъ массъ; воздушная оболочка, постепенно разрѣжаясь, мало по малу, переходитъ въ тончайшую междупланетную среду. Но въ метеорологіи важно знать не *абсолютную* высоту атмосферы, а лишь *метеорологическое* ея распространеніе, т. е. высоту тѣхъ слоевъ, которые на столько плотны, что могутъ еще играть нѣкоторую роль въ физической жизни нашей планеты.

Digitized by Google

Высота облаковъ. Метеорологическія явленія, происходящія въ атмосферѣ, весьма разнообразны и изученіе многихъ изъ нихъ можетъ дать способъ для опредѣленія высоты соотвѣтствующихъ ярусовъ атмосферы. Въ болѣе низкихъ слояхъ происходятъ постоянно процессы сгущенія паровъ и образованіе облаковъ. Въ основѣ разнообразныхъ способовъ опредѣленія *высоты* облаковъ лежитъ методъ засѣчекъ, простѣйшая идея котораго заключается въ слѣдующемъ [1]). На ровной, по возможности горизонтальной, части земной поверхности *MN* проводятъ прямую линію *AB* — *основаніе* или *базисъ* — и тщательно ее измѣряютъ (фиг. 52). Длина базиса зависитъ отъ высоты наблюдаемыхъ облаковъ. При опредѣленіи высоты низкихъ облаковъ, длина базиса равна 1—2 километрамъ; при наблюденіи высокихъ облаковъ, длина эта должна быть увеличена до 3—4 километровъ. Въ конечныхъ точкахъ *A* и *B* базиса, два наблюдателя устанавливаютъ два теодолита и направляютъ оси трубъ на избранную, рѣзко выдающуюся, точку облака *K* [2]), высота коей надъ поверхностью земли выразится длиною перпендикуляра *KO*. При этомъ измѣряютъ: 1) углы *KAO* и *KBO*, лежащіе въ вертикальной плоскости и 2) углы *OAB* и *OBA*, лежащіе въ горизонтальной плоскости. Рѣшая треугольникъ *AOB*, по сторонѣ и двумъ прилежащимъ угламъ, мы вычислимъ стороны *AO* и *BO*; изъ треугольниковъ же *AKO* и *BKO* опредѣлимъ высоту *KO*. Примѣняя, съ сотвѣтствующими поправками, этотъ методъ, нашли, что, въ среднемъ, на высотѣ 2—3 километровъ лежитъ нижній, а на высотѣ 4 — 6 километровъ — средній ярусъ обла-



Фиг. 52.

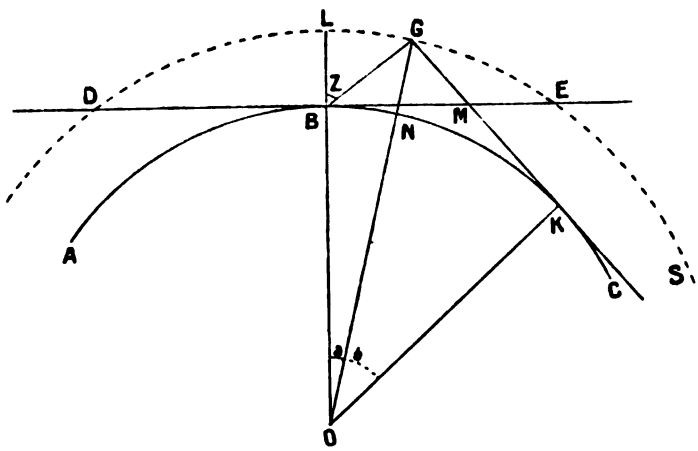
[1]) Подробно см. Korpe. Photogrammetrie.

[2]) Для удобства переговоровъ, наблюдатели сообщены телефономъ.

Digitized by Google

ковъ; на высотѣ же 9 и болѣе километровъ несутся верхнія перистыя облака [1]).

Красная заря 1883 года. Во второй половинѣ 1883 года наблюдали, на значительной части земной поверхности, явленіе *красной зари*. Вскорѣ послѣ заката солнца, западная часть горизонта окрашивалась въ яркій пурпуровый цвѣтъ, напоминавшій зарево большого пожара. Въ дневные часы, дискъ солнца, а въ ночные часы дискъ луны, получали голубоватый или зеленоватый оттѣнокъ. Явленіе это очевидно указывало на существованіе, на нѣкоторой высотѣ въ атмосферѣ, облака какой-то пыли, способной разсѣивать болѣе длинные лучи солнечнаго свѣта. Нетрудно опредѣлить высоту нижняго предѣла этого облака. Положимъ (фиг. 53) что



Фиг. 53.

ABC—земная поверхность,
DE—горизонтъ мѣста наблюденія,
DLE—слой облака, производящаго зарю,
S—солнце, скрывшееся подъ горизонтомъ,
SG—солнечный лучъ, касательный къ земной поверхности,

[1]) Этотъ же методъ, соединенный съ одновременнымъ фотографированіемъ, примѣняется къ опредѣленію не только высоты облаковъ, но и высоты, на которой происходятъ и другія явленія въ атмосферѣ.

Digitized by Google

G—крайняя точка облака, освѣщенная еще солнечными лучами,

O—центръ земли,

$GN=x$—искомая высота облака надъ поверхностью земли,

OL—отвѣсная линія мѣста наблюденія B,

$OB=ON=OK=R$—радіусъ земли.

Очевидно, что часть небеснаго свода, лежащая между G и E, получаетъ непосредственные солнечные лучи, которые, разсѣиваясь, производятъ явленіе зари. При помощи теодолита опредѣлимъ, въ извѣстный моментъ, уголъ $LBG=z$ (зенитальное разстояніе точки G). При помощи хронометра и астрономическихъ таблицъ, найдемъ также уголъ $EMS=\beta$, показывающій, на сколько солнце успѣло опуститься подъ горизонтъ въ моментъ наблюденія. Очевидно, что уголъ $EMS=\beta=a+b$. Изъ треугольника OBG:

$$(R+x) : R=Sin GBO : Sin BGO \quad \text{или}$$

$$(R+x) : R=Sin z : Sin (z-a). \qquad (1)$$

Изъ треугольника GOK:

$$(R+x) : R=1 : Cos b \qquad (2)$$

отсюда $\quad Sin z : Sin (z-a)=1 : Cos b$

или $\quad Sin z : Sin (z-a)=1 : Cos (\beta-a) \qquad (3)$

откуда $\quad tang a=\dfrac{Sin z (1-Cos\beta)}{Sin z Sin\beta+Cos z} \qquad (4)$

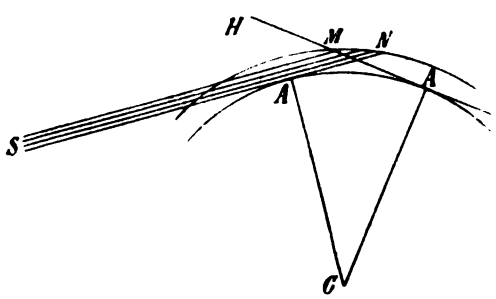
Вставляя эту величину въ уравненіе (1), найдемъ x. Подобныя опредѣленія показали, что облако пыли, произведшее явленіе красной зари, находилось на высотѣ около 50 километровъ. Относительно природы этого облака высказано было, въ свое время, нѣсколько предположеній. По мнѣнію однихъ, облако это образовалось вслѣдствіе вторженія въ нашу атмосферу космическаго вещества въ состояніи крайняго распыленія; другіе разсматривали его, какъ скопленіе тончайшей ледяной пыли, образовавшейся въ высокихъ ярусахъ атмосферы. Но вопросъ былъ вполнѣ выясненъ, когда явленіе красной зари сопоставили съ вулканическимъ изверженіемъ Кракатау. Въ концѣ августа 1883 г., въ Зондскомъ проливѣ произошло одно изъ величай-

Digitized by Google

шихъ изверженій. Вулканъ Кракатау выбросилъ огромное количество вещества. Тончайшая вулканическая пыль достигла высоты 40 — 50 километровъ и была подхвачена верхними теченіями атмосферы; мало по малу, она окутала земной шаръ и произвела явленіе необыкновенной зари и окрашиваніе солнца и луны.

Съ января 1885 года, особенно въ мѣсяцы, близкіе къ солнцестояніямъ, на сѣверной сторонѣ горизонта, въ полуночные часы, можно наблюдать, такъ называемыя, *серебристыя* облака. Въ сѣверномъ полушаріи онѣ видны отъ мая до конца іюня, въ южномъ—въ декабрѣ. Облака эти особенно тщательно изслѣдованы Jesse въ Берлинѣ. Одновременные фотографическіе снимки изъ двухъ отдаленныхъ пунктовъ даютъ возможность опредѣлить ихъ высоту. Высота эта достигаетъ 80 — 90 километровъ. Природа этихъ облаковъ остается неизвѣстной.

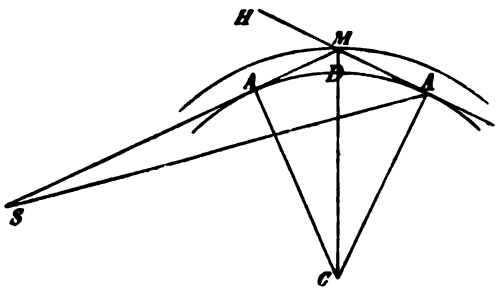
Методъ Alhazen'a. Еще въ XII в. арабскій ученый Alhazen предложилъ способъ опредѣленія высоты атмосферы на основаніи опредѣленія продолжительности сумерекъ. Строго говоря, этотъ способъ даетъ возможность опредѣлить высоту того слоя атмосферы, который настолько плотенъ, что можетъ еще разсѣивать нѣкоторое количество свѣта. Пока солнце находится надъ горизонтомъ, мы получаемъ двоякаго рода свѣтъ: *непосредственный*, исходящій отъ солнечнаго диска, и свѣтъ, разсѣянный остальной частью небеснаго свода. Этотъ разсѣянный свѣтъ даетъ то, что мы называемъ *дневное освѣщеніе* небеснаго свода. Пусть (фиг. 54) *AA*—земная поверхность, *MN*—послѣдній слой атмосферы, способной еще отражать нѣкоторое количество свѣта, *HA* — горизонтъ мѣста наблюденія, *C* — центръ земли. Когда солнце, опустившись подъ горизонтъ, находится въ точкѣ *S*, то лучи его продолжаютъ еще освѣщать нѣкоторую часть *MN* свода, находящагося надъ горизонтомъ, разсѣиваются имъ и даютъ явленіе *сумерекъ*. Величина сегмента, освѣщаемаго



Фиг. 54.

Digitized by Google

солнечными лучами, выходящими изъ подъ горизонта, по мѣрѣ опусканія солнца, постепенно уменьшается, и, наконецъ, наступаетъ такой моментъ, когда послѣдній лучъ солнца SA, проведенный касательно къ земной поверхности, падаетъ въ точку M, т. е. въ точку пересѣченія небеснаго свода съ горизонтомъ. Весь сводъ, находящійся надъ головой наблюдателя, не получаетъ болѣе лучей путемъ однократнаго разсѣиванія. Въ это время наступаетъ конецъ сумерекъ. Пусть (фиг. 55)



Фиг. 55.

ADA—земная поверхность,

HA—горизонтъ мѣста наблюденія,

S—солнце въ моментъ окончанія сумерекъ,

SAM—солнечный лучъ, касательный къ землѣ и ударяющій въ точку горизонта M,

$SMH=\alpha$—уголъ, на который солнце опустилось подъ горизонтъ къ моменту окончанія сумерекъ,

C—центръ земли,

$CA=CD=CA=R$—радіусъ земли,

$DM=x$—вертикальная высота слоя, способнаго еще разсѣивать лучи.

Очевидно, что уголъ α=углу $ACA=2ACD$. Изъ треугольника ACD [1]):

$$R=(R+x)\,Cos ACD,$$

$$R=(R+x)\,Cos\frac{\alpha}{2}.$$

Изъ этого уравненія можно вычислить x, если только извѣстенъ уголъ α. Прежде принимали, что конецъ вечернихъ или начало утреннихъ сумерекъ наступаетъ тогда, когда уголъ α (уголъ

---

[1]) При всѣхъ вычисленіяхъ, приведенныхъ въ этой главѣ, мы не вводимъ поправокъ, зависящихъ отъ рефракціи, сферическаго вида земли и т. д.

Digitized by Google

депрессіи солнца) равенъ 18°. Но дальнѣйшія изслѣдованія показали, что величина этого угла измѣняется. Такъ, наблюденія Hellmann'a привели къ слѣдующимъ выводамъ: 1) уголъ депрессіи солнца къ концу вечернихъ сумерекъ и началу утреннихъ испытываетъ годовой періодъ: максимумъ падаетъ на зимніе мѣсяцы, минимумъ — на лѣтніе; 2) уголъ α больше для утреннихъ сумерекъ, чѣмъ для вечернихъ; 3) уголъ этотъ увеличивается при увеличеніи относительной влажности воздуха; 4) уголъ α имѣетъ бо́льшую величину въ болѣе высокихъ широтахъ, чѣмъ въ болѣе низкихъ и посреди материковъ меньше, чѣмъ надъ сосѣдними океанами. Въ наблюденіяхъ Hellmann'a въ Испаніи, величина угла α колебалась между 15°.15 и 19°.37. Другіе наблюдатели получили слѣдующія числа:

Behrmann въ тропической части Атлант. океана . . 15°.6.
Schmid въ Аѳинахъ зимою . . . 17°.4
» » » лѣтомъ . . . 15°.3
» на Arequipa (2600 метр. надъ уровн. моря) . . 17°,
» въ Vincocaya (4400 метр. надъ уровн. моря) . . 18°.

Moller въ тропическихъ частяхъ океана нашелъ въ октябрѣ 1903 г. 18°.4, въ мартѣ 1904 г.—16°.6.

Въ среднемъ, высота яруса атмосферы, дѣятельнаго еще въ явленіяхъ сумерекъ, колеблется отъ 60 до 70 километровъ [1]). Чѣмъ больше свѣторазсѣивающихъ частицъ находится въ болѣе высокихъ слояхъ атмосферы, тѣмъ уголъ α больше. Такъ, во время необычайной зари 1883—1884 г. найдены величины 18° 22′ (Haugton въ Honolulu) и 19° 5′ (Ricco въ Сициліи).

Высота загоранія метеоритовъ. Всякій изъ насъ наблюдалъ явленіе, такъ называемыхъ, «падающихъ звѣздъ». Особенно обильны падающія звѣзды въ концѣ іюля и началѣ августа, а также въ ноябрѣ (персеиды и леониды). Междупланетное пространство прорѣзывается постоянно цѣлыми роями мелкихъ космическихъ тѣлецъ, несущихся съ огромными скоростями. Нѣкоторыя изъ этихъ тѣлецъ могутъ вторгаться въ нашу атмосферу. При вторженіи такого космическаго тѣльца со скоростью, доходящей до 70 километровъ въ секунду, частицы воздуха нахо-

[1]) Способъ наблюденія хода сумерекъ и опредѣленіе ихъ окончанія въ метеорологическомъ отношеніи изложенъ подробно въ главѣ «Метеорологическая оптика».

Digitized by Google

дящіяся на пути метеорита, нагрѣваются и даже накаливаются. Очевидно, что на тѣхъ высотахъ, гдѣ происходитъ загораніе, долженъ существовать воздухъ извѣстной, хотя бы минимальной, плотности. Многочисленныя наблюденія установили тотъ фактъ, что загораніе метеоритовъ возможно на высотѣ 100—200 и болѣе километровъ. По наблюденіямъ Denning'a (1897—1898 годы), высота загоранія весьма рѣдко достигаетъ 240 километровъ. Прежнія наблюденія дали болѣе высокія числа; такъ, Herschel наблюдалъ первое появленіе падающей звѣзды на высотѣ 312 километровъ (16 іюля 1861 г.), а по Heiss'y, первое появленіе метеорита возможно на высотѣ 346 километровъ (11 августа 1849 года).

Исчезаніе голубой окраски неба. See, въ Вашингтонѣ, предложилъ еще одинъ методъ. Если при наступленіи ночи наблюдать небо невооруженнымъ глазомъ, то лица, обладающія хорошимъ зрѣніемъ, могутъ отмѣтить моментъ полнаго исчезновенія голубого цвѣта неба. Для этого момента можно вычислить соотвѣтствующую депрессію солнца, а слѣдовательно, и высоту слоя воздуха, способнаго еще разсѣивать солнечный свѣтъ. Изъ наблюденій въ Annapolis'ѣ (Соед. Штаты) See получилъ въ 1903 году слѣдующія числа[1]):

августа	10 . . .	201	километръ
»	21 . . .	209	»
»	22 . . .	214	»
»	23 . . .	217	»
»	24 . . .	212	»
среднее	. . . .	211	»

Полярныя сіянія. Время отъ времени, наблюдается на земной поверхности, особенно въ болѣе высокихъ широтахъ, величественное явленіе *полярныхъ сіяній*. Видоизмѣненный соотвѣтствующимъ образомъ способъ засѣчекъ даетъ возможность опредѣлить высоту, на которой происходитъ это явленіе. Найдено, что этотъ тихій разрядъ электричества можетъ происходить на высотѣ, достигающей 300—400 километровъ.

Затменіе луны. Boedicker, во время луннаго затменія 28 января 1888 года, нашелъ, что уменьшеніе лучеиспусканія

[1]) Bulletin de la société astronomique de France. Août. 1905, p. 371—372

Digitized by Google

началось за 3 минуты до вступленія луны въ тѣнь земли, что указываетъ на существованіе земной атмосферы толщиною не менѣе 300 километровъ.

Уменьшеніе плотности воздуха съ высотою. Существуетъ, какъ увидимъ далѣе, барометрическая формула, которая даетъ возможность вычислить давленіе, а слѣдовательно, упругость и плотность воздуха на различныхъ высотахъ. Если законы Mariott'a и Gay-Lussac'a, лежащіе въ основѣ этой формулы, справедливы при всѣхъ давленіяхъ и температурахъ, то давленіе воздуха (p) на различныхъ высотахъ (h) измѣряется, въ миллиметрахъ ртутнаго столба, слѣдующими числами:

высота въ килом. . . .	10	20	50	100
давленіе въ миллим. . .	199.4	42.2	0.32	0.0012

Общіе результаты. Собирая въ одно цѣлое всѣ вышеизложенныя данныя, мы приходимъ къ слѣдующему общему заключенію относительно распространенія атмосферы. Въ нашей воздушной оболочкѣ, на высотѣ 2—3 километровъ находится нижній, а на высотѣ 4—7 километровъ — средній ярусъ облаковъ; на высотѣ 9 и болѣе километровъ несутся верхніе перистыя облака; на высотѣ 50 километровъ плавала пыль, изверженная въ 1883 году вулканомъ Кракатау и произведшая, памятное многимъ, явленіе красной зари; на высотѣ 60—70 километровъ находятся еще настолько плотные слои воздуха, что они въ состояніи разсѣивать лучи и производить явленіе сумерекъ; на высотѣ 80—90 километровъ парятъ таинственныя серебристыя облака, обратившія на себя, въ послѣдніе годы, вниманіе ученаго міра; на высотѣ 200—250 километровъ можетъ происходить еще загораніе метеоритовъ; кольцо полярныхъ сіяній наблюдается на высотѣ 400 километровъ. До высоты $5^1/_2$ километровъ находится уже половина всей массы атмосферы; выше 10 километровъ остается только менѣе одной трети массы, а на высотѣ 100 километровъ упругость воздуха можетъ уравновѣсить столбъ ртути высотою въ 0.0012 миллиметра.

Косвенныя сужденія о планетныхъ атмосферахъ вообще можетъ дать также механическая теорія тепла и кинетическая теорія газовъ. Ritter, исходя изъ основныхъ положеній механической теоріи тепла, находитъ, что толщина земной атмосферы

Digitized by Google

должна быть близка къ 350 километрамъ [1]). Съ другой стороны, кинетическая теорія газовъ указываетъ, что данная планета можетъ привлечь къ себѣ и удержать въ видѣ атмосферы не всѣ роды газовъ и не во всякой толщинѣ, а только тѣ изъ нихъ и въ такомъ количествѣ, которое соотвѣтствуетъ массѣ притяженія планеты и кинетической энергіи газа. И дѣйствительно, изъ кинетической теоріи газовъ извѣстно, что отдѣльные молекулы газовъ должны постоянно оставлять планетныя атмосферы, какъ только ихъ скорости достигаютъ такой величины, что въ состояніи преодолѣть тяготѣніе къ центру планеты. По теоріи вѣроятностей, между молекулами газовъ должны всегда существовать такія, которыя имѣютъ скорости, необходимыя для оставленія небеснаго тѣла. Съ другой стороны, должны существовать и такія, которыя движутся со скоростями, недостаточными для оставленія атмосферы данной планеты. Для газовъ, обладающихъ меньшей плотностью, вѣроятность, что отдѣльныя частицы достигаютъ значительныхъ скоростей, гораздо больше, чѣмъ для газовъ болѣе плотныхъ. На этомъ основаніи, отъ поверхности данной планеты, напримѣръ земли, молекулы болѣе легкихъ газовъ отрываются скорѣе и легче, чѣмъ молекулы болѣе плотныхъ газовъ. Если процессъ этотъ длится значительное время, то изъ атмосферы планеты извѣстной массы могутъ быть отняты всѣ газы, плотность которыхъ лежитъ ниже извѣстнаго предѣла. Скорость молекулъ, необходимая для оставленія ими земной атмосферы, въ пять разъ больше, чѣмъ для оставленія лунной атмосферы. Вотъ почему около луны должны быть только слѣды атмосферы, а въ земной воздушной оболочкѣ почти вовсе отсутствуютъ такіе газы, какъ водородъ, гелій.

Но какова механически возможная крайняя высота атмосферы? Къ выясненію этого вопроса можно подойти двумя путями. Атмосфера представляетъ массу газа, обладающую извѣстной упругостью и подверженную дѣйствію тяжести; съ другой стороны, та же масса газа участвуетъ въ суточномъ вращеніи земли, вслѣдствіе чего, каждая частица атмосферы подвержена также дѣйствію центробѣжной силы. Очевидно, что *предѣльнымъ* слоемъ атмосферы слѣдуетъ считать тотъ слой, въ которомъ всѣ

[1]) Ritter. Untersuchungen über die Höhe der Atmosphäre und über die Konstitution gasformiger Weltkörper. 1878.

Digitized by Google

эти силы взаимно уравновѣшиваются. Возьмемъ какую-нибудь точку атмосферы A, отстоящую отъ центра земли на разстояніи x. Пусть напряженіе тяжести въ этой точкѣ равно g, а центробѣжная сила равна f. Если напряженіе тяжести на поверхности земли равно g_0, радіусъ земли R, а радіусъ той параллели, которую описываетъ точка атмосферы A въ теченіе суточнаго оборота, равенъ r, то очевидно

$$g=g_0\frac{R^2}{x^2} \text{ и } f=\frac{4\pi^2 r}{T^2}.$$

Разложимъ силу f на двѣ: по продолженію радіуса и перпендикулярно къ нему. Первая изъ этихъ двухъ составляющихъ f_1

$$f_1=\frac{4\pi^2 r\,Cos\varphi}{T^2}$$

гдѣ φ — широта точки A. Если точка A взята на предѣльномъ слоѣ атмосферы, то

$$g_0\frac{R^2}{x^2}=\frac{4\pi^2 x Cos^2\varphi}{T^2};$$

если $\varphi=0$, то $x=30000$ килом.

Но если принять во вниманіе упругость воздуха, то высота возможнаго предѣльнаго слоя атмосферы значительно понизится, причемъ высота этого слоя будетъ находиться въ тѣсной зависимости отъ закона уменьшенія упругости воздуха съ высотою.

Neumann [1]), принимая во вниманіе только тяжесть и центробѣжную силу и примѣняя болѣе строгій путь математическаго анализа, опредѣляетъ видъ поверхностей одинаковаго давленія атмосферы въ состояніи ея равновѣсія. Оказывается, что поверхности эти имѣютъ форму эллипсоидовъ вращенія, малая ось которыхъ совпадаетъ съ полярной осью земли.

Но къ рѣшенію поставленнаго вопроса можно подойти съ другой точки зрѣнія. На крайнемъ предѣлѣ атмосферы лежатъ послѣднія изъ частицъ воздуха, совершающія свой полный оборотъ въ 24 часа. Частицы, лежащія внѣ этого предѣла, не уча-

[1]) Neumann. Einleitung in die theoretische Physik, S. 168.

Digitized by Google

ствуютъ болѣе въ суточномъ обращеніи земли и должны совершать самостоятельное движеніе на подобіе планетъ. Но по 3-му закону Кеплера, «квадраты временъ обращенія планетъ вокругъ центральнаго тѣла пропорціональны кубамъ разстояній этихъ планетъ отъ центральнаго тѣла». Если обозначимъ

x — разстояніе предѣльнаго слоя атмосферы отъ центра земли,

R — разстояніе центра луны отъ центра земли,

T — время обращенія луны около земли, выраженное въ суткахъ, то

$$T^2 : 1 = R^3 : x^3,$$

$$x^3 = \frac{R^3}{T^2}.$$

Но, приблизительно,

$$T = 27, \text{ а } R = 60,$$

откуда

$$x = 6.67 \text{ земныхъ радіуса.}$$

Процентное содержаніе основныхъ газовъ. Атмосферный воздухъ состоитъ изъ смѣси основныхъ газовъ: азота, кислорода, аргона (и тѣсно связанныхъ съ нимъ неона, ксенона, криптона и гелія)[1]), а также углекислоты и водяныхъ паровъ. Тщательные анализы воздуха показали также присутствіе озона, амміака, азотной кислоты и даже водорода. Наконецъ, въ атмосферѣ нашей суспендирована постоянно масса мельчайшей пыли разнообразнаго происхожденія. Анализы показали, что составъ воздуха, по отношенію къ основнымъ газамъ, отличается замѣчательнымъ постоянствомъ, независимо, конечно, отъ случайныхъ мѣстныхъ вліяній. Въ настоящее время принимаютъ, что воздухъ, освобожденный отъ углекислоты, водяныхъ паровъ и всѣхъ прочихъ примѣсей, имѣетъ слѣдующій составъ по объему и по вѣсу[2]):

---

[1]) Спектральныя линіи гелія были впервые открыты въ хромосферѣ солнца Lockyer'омъ еще въ 1868 г., но самый элементъ оставался неизвѣстнымъ.

[2]) Comptes-Rendus, 1896, T. CXXIII, p. 805.

Digitized by Google

	По объему.	По вѣсу.
азотъ	78.06%	75.50%,
кислородъ . . .	21.00	23.20 ,
аргонъ	0.94	1.30 .

Это постоянство состава имѣетъ мѣсто не только при переходѣ отъ одной части земной поверхности къ другой; оно сохраняется также и до высотъ, доступныхъ нашему измѣренію. Такъ, пробы воздуха, принесенныя автоматическимъ приборомъ Cailletét, поднятымъ на шарѣ-зондѣ 18 февраля 1897 года до высоты 15000 метровъ, дали, по анализамъ Leduc'a, слѣдующій результатъ:

азотъ	78.27%,
кислородъ	20.79 ,
аргонъ	0.94 .

Шлезингъ, анализируя воздухъ Парижа, Нормандіи и семи образцовъ, доставленныхъ изъ Средиземнаго моря и Атлантическаго океана, нашелъ подобные же результаты [1]).

По Hann'у, составъ сухого воздуха можетъ быть, въ настоящее время, выраженъ слѣдующимъ образомъ:

Газы.	Азотъ.	Кислородъ.	Аргонъ.	Углекис.	Водородъ.	Неонъ.	Гелій.
Плотность .	13.92	15.94	19.82	22.01	1.00	9.91	1.97
Содержаніе по объему .	78.03%	20.99	0.94	0.03	0.01	0.0015	0.00015
Точка кипѣн. при 760 мм.	—194°	—182.5°	—186°	—80°	—252.5°	—250°	?

Если же принять во вниманіе водяные пары, то составъ воздуха по объему слѣдующій:

	Азотъ.	Кислородъ.	Аргонъ.	Вод. пары.	Углекислота.
экваторъ .	75.99%	20.44	0.92	2.63	0.02
50° с. ш. .	77.32	20.80	0.94	0.92	0.02
70° с. ш. .	77.87	20.94	0.94	0.22	0.03

Постоянство состава воздуха по отношенію къ основнымъ газамъ (независимо отъ случайныхъ мѣстныхъ вліяній) можетъ

[1]) Comptes-Rendus. 1896, T. CXXIII, p. 696.

Digitized by Google

быть объяснено, во-первыхъ, огромнымъ распространеніемъ атмосферы, во-вторыхъ, — процессами диффузіи газовъ и, наконецъ, перемѣшиваніемъ и обмѣномъ слоевъ вѣчно подвижной атмосферы. Нѣкоторые ученые пытались изслѣдовать ближе вопросъ о возможности колебаній въ количествѣ кислорода атмосферы въ зависимости отъ измѣненій метеорологическихъ факторовъ. Наиболѣе полныя и обширныя изслѣдованія, въ этомъ направленіи, принадлежатъ Jolly въ Мюнхенѣ [1]). Jolly изслѣдовалъ составъ воздуха двумя путями: вѣсовымъ и эвдіометрическимъ.

Обозначимъ вѣсъ единицы объема воздуха черезъ p,

» » » » кислорода » p_1,

» » » » азота » p_{11}.

Если въ 100 объемахъ воздуха заключается x объемовъ кислорода, то содержаніе азота равно $100-x$; слѣдовательно,

вѣсъ кислорода въ 100 объемахъ воздуха будетъ $p_1 x$,

» азота » » » » » $p_{11}(100-x)$,

» 100 объемовъ воздуха . . . . . $p.100$.

Очевидно, что

$$p_1 x + p_{11}(100-x) = p.100,$$

откуда

$$x = \frac{p-p_{11}}{p_1-p_{11}} 100.$$

На основаніи старыхъ опредѣленій Regnault:

вѣсъ одного кубич. дециметра кислорода, т. е. $p_1 = 1.429802$ грамма,

» » » » азота » $p_{11} = 1.256167$ » ,

» » » » воздуха » $p = 1.293187$ » .

Откуда $x = 21.32\%$. Jolly предпринялъ провѣрку старыхъ опредѣленій Regnault. При помощи устроенныхъ имъ, крайне чувствительныхъ, вѣсовъ, онъ нашелъ:

$p_1 = 1.442545$ грамма,

$p_{11} = 1.269455$ » .

Вѣсъ же кубическаго дециметра, сухого и освобожденнаго отъ углекислоты, воздуха, взятаго въ разстояніи двухъ километровъ

---

[1]) Zeitschrift für Meteorologie. 1879, S. 227.

Digitized by Google

отъ города, колебался между 1.305754 грамма (при *NE* вѣтрѣ) и 1.304931 грамма (*S* фёнъ), т. е. въ предѣлахъ 0.9 миллиграмма, тогда какъ погрѣшность наблюденій не превышала 0.05 миллиграмма. Вставляя числа эти въ предыдущую формулу, найдемъ, что процентное содержаніе кислорода колеблется отъ 20.965% до 20.477%, т. е. въ предѣлахъ 0.5%; къ подобнымъ же результатамъ приводятъ и эвдіометрическія измѣренія (21.01 и 20.53). Вообще, изъ ряда своихъ опредѣленій, какъ вѣсовыхъ, такъ и эвдіометрическихъ, Jolly пришелъ къ заключенію, что полярныя теченія увеличиваютъ, а экваторіальныя уменьшаютъ содержаніе кислорода. Jolly предполагалъ, что уменьшенное содержаніе кислорода экваторіальнаго теченія можетъ быть объяснено тѣмъ, что эти теченія приходятъ изъ тропическихъ и субтропическихъ странъ, гдѣ, вслѣдствіе разнообразныхъ причинъ, процессы окисленія преобладаютъ надъ процессами возстановленія кислорода; въ полярныхъ же странахъ имѣетъ мѣсто обратное соотношеніе. Согласно съ этимъ, Macagno въ Палермо нашелъ, что, при югозападныхъ вѣтрахъ, содержаніе кислорода на 0.8% ниже средняго. Нѣсколько позже (1880—1881 г.), Morley, произведя рядъ анализовъ въ штатѣ Ohio, пришелъ къ аналогичнымъ, въ количественномъ отношеніи, результатамъ; но онъ утверждаетъ, что колебанія въ содержаніи кислорода связаны съ измѣненіемъ давленія: повышающееся давленіе уменьшаетъ количество кислорода и обратно, а это можетъ быть поставлено въ связь съ образованіемъ циклоновъ и антициклоновъ, а также съ восходящими и нисходящими токами. Vogler, въ Боннѣ, сопоставилъ дни, въ которые производились наблюденія Jolly, съ синоптическими картами и нашелъ, что случаи увеличенія содержанія кислорода совпадаютъ съ господствомъ барометрическихъ максимумовъ. Въ 1883 и 1884 годахъ профессоръ Hempel произвелъ рядъ новыхъ изслѣдованій въ Дрезденѣ и сопоставилъ ихъ съ одновременными опредѣленіями Hagen'a, произведенными на пути изъ Ливерпуля въ Нью-Іоркъ. Полученные результаты подтвердили колебаніе кислорода въ предѣлахъ указанныхъ Jolly. Но причины этихъ колебаній, какъ справедливо указываетъ Hempel, должны быть гораздо сложнѣе, чѣмъ это предполагали Jolly и Morley. Причины эти должны быть связаны съ цѣлымъ рядомъ процессовъ и факторовъ, какъ физической такъ и органической жизни нашей планеты. Установить эту связь можно только пу-

Digitized by Google

темъ цѣлой сѣти однообразныхъ наблюденій въ различныхъ точкахъ земной поверхности и на различныхъ высотахъ [1]).

Количество *водяныхъ паровъ* въ атмосферѣ подвержено значительнымъ колебаніямъ и играетъ огромную роль въ физической жизни нашей планеты. Изученіе свойствъ водяныхъ паровъ и ихъ круговорота въ атмосферѣ составитъ предметъ особой главы.

Углекислота и другіе газы. Атмосферѣ нашей свойственно также присутствіе *углекислоты*, количество которой было подвержено, по всей вѣроятности, значительнымъ измѣненіямъ въ различныя геологическія эпохи. Въ настоящее время найдено, что воздухъ, вдали отъ мѣстъ возможныхъ новообразованій углекислоты (городовъ, фабрикъ, вулкановъ), содержитъ, среднимъ числомъ, 30.0 литровъ въ 100 кубическихъ метрахъ воздуха (0.03%). Изъ 10-тилѣтнихъ наблюденій (1891—1900) въ обсерваторіи Montsouris, близъ Парижа, найдено слѣдующее содержаніе углекислоты (въ кубич. дециметрахъ) въ *дневные* (6 ч. утра—6 ч. вечера) и *ночные* (6 ч. вечера—6 ч. утра) часы въ 100 кубическихъ метрахъ воздуха:

	Средн.	День.	Ночь.	Разн.
Январь . . .	31.6	31.7	31.5	+0.2
Февраль . . .	31.5	31.6	31.3	+0.3
Мартъ . . .	31.5	31.3	31.6	—0.3
Апрѣль . . .	31.5	30.9	32.0	—1.1
Май	31.0	30.1	31.9	—1.8
Іюнь	31.1	30.4	31.8	—1.4
Іюль	30.7	30.1	31.3	—1.2
Августъ . . .	31.1	30.4	31.8	—1.4
Сентябрь . .	31.5	30.8	32.1	—1.3
Октябрь . . .	31.5	31.2	32.0	—0.8
Ноябрь . . .	32.2	31.9	32.4	—0.5
Декабрь . . .	31.9	31.9	32.0	—0.1
Годъ	31.4	31.0	31.8	—0.8

[1]) Сопоставленіе различныхъ результатовъ приведено въ статьѣ Ebert'a «Die Sauerstoffschwankungen und die Kohlensäure der Atmosphäre. Programm der Vitztumschen Gymnasiums». 1885.

Digitized by Google

Изъ этой таблички виденъ ярко выраженный максимумъ въ ноябрѣ и минимумъ въ маѣ [1]).

Надъ моремъ, въ нѣкоторыхъ случаяхъ, найдены болѣе низкія числа. Такъ напр., у западныхъ береговъ Сѣверной Африки и у восточныхъ береговъ Бразиліи наблюдали 14.0 — 20.0 л. Pettersson нашелъ, въ среднемъ, для южной части Атлантическаго океана 23.2. Лежандръ въ разныхъ пунктахъ Атлантическаго океана къ западу отъ Бретани, въ августѣ и сентябрѣ 1906 года, въ среднемъ въ 100 кубич. метрахъ воздуха, нашелъ 33.5 литра углекислоты [2]). Континентальный воздухъ Патагоніи далъ 27.0 (между 22.5 — 32.0). Надъ сѣверной частью Атлантическаго океана и надъ арктическимъ океаномъ найдено 30.5. Уменьшеніе это, вѣроятно, объясняется поглощеніемъ углекислоты водою океановъ. Вообще, по Müntz-Oben'у, воздухъ надъ моремъ содержитъ, въ среднемъ, углекислоты

въ сѣверномъ полушаріи 28.2,
» южномъ » 27.2.

Съ высотою, въ доступныхъ наблюденію предѣлахъ, количество углекислоты также мало измѣняется. Такъ:

На Pic-du-Midi (Müntz)	на высотѣ	2880 метр.	27.8,
Въ одной долинѣ Пиренеевъ	»	600 »	28.2,
На Монбланѣ	»	4050 »	26.9,
» »	»	2080 »	26.2.

Во время воздушныхъ поднятій André найдено:

высота (въ метрахъ)	0	1200	2370	3200	3830,
содержаніе углекислоты . . .	32.0	32.3	31.7	31.0	33.7.

Воздухъ, принесенный съ высоты 15000 метровъ (18 февраля 1897 года), содержалъ углекислоты 0.033% (т. е. 33.0 куб. дециm. въ 100 куб. метрахъ воздуха).

Такимъ образомъ, количество углекислоты, въ среднемъ, колеблется въ небольшихъ предѣлахъ. Это относительное постоянство въ содержаніи углекислоты даетъ намъ право заключить, что на земной поверхности и въ ея атмосферѣ существуетъ,

---

[1]) Annales de l'observatoire municipal de Montsouris, t. IV, 1905, p. 266. Въ этомъ изданіи изложены подробно методы химическихъ изслѣдованій воздуха и осадковъ.

[2]) C.-R. T. 143, № 15, Octobre. 1906.

Digitized by Google

своего рода, круговоротъ углекислоты. Углекислота, выдѣляющаяся и образующаяся въ одномъ мѣстѣ, потребляется или поглощается въ другомъ. Конечно, въ городахъ, закрытыхъ помѣщеніяхъ, особенно въ мѣстахъ скопленія людей, количество углекислоты поразительно возрастаетъ. Интересны, въ этомъ отношеніи, опредѣленія, произведенныя въ Одессѣ проф. А. А. Вериго и лаборантомъ А. А. Лебединцевымъ. Наблюденія производились по способу Pettenkofer'a, видоизмѣненному проф. Вериго [1]):

Время наблюденія.	Мѣсто наблюд.	Колич. углекислоты.
24 февраля 1890 г. 12½ ч. дня	Городской садъ	28.8
25 » » » » » »		30.1
6 апрѣля » » 2½ » »	Малый Фонтанъ	29.8
съ 6 по 7 апр. » » 12 ч. ночи		33.4
» 7 » 8 » » » » » »		30.0
8 апрѣля » » 4 ч. дня		31.5
11 » » » » » »		29.5

Поразительны результаты, полученные въ Ришельевской гимназіи въ Одессѣ:

послѣ 1-го урока . . . 33.41 въ 10.000 объем. воздуха,
» 3-го » . . . 62.70 » » » » ,
» 5-го » . . . 62.84 » » » » .

Главными источниками углекислоты въ атмосферѣ являются вулканическія изверженія, а также выдѣленія этого газа изъ почвы, атмосфера которой весьма богата углекислотой; второстепенное значеніе имѣютъ процессы дыханія животныхъ, гніеніе органическихъ веществъ, сожиганіе горючихъ матеріаловъ [2]), различныя химическія производства и т. п. Съ другой стороны,

---

[1]) Лебединцевъ. Новое видоизмѣненіе Дальтонъ-Петтенкоферовскаго способа опредѣленія угольной кислоты въ воздухѣ. Одесса. 1890, стр. 36—38.

[2]) По расчету Arrhenius'a, ежегодно сожигается около 700 милліоновъ тонъ угля. Изъ 3 граммовъ угля и 8 граммовъ кислорода образуется 11 граммовъ углекислоты. Все сожигаемое годовое количество угля доставляетъ девятисотую часть углекислоты, содержащейся во всей атмосферѣ (Arrhenius, Lehrbuch der Kosm. Physik, II, S. 480).

Digitized by Google

зеленыя части растеній, подъ дѣйствіемъ солнечныхъ лучей, разлагаютъ углекислоту воздуха, усваивая углеродъ и выдѣляя кислородъ. Но наиболѣе важнымъ регуляторомъ, является, по Schlösing'у, океанъ, воды котораго поглощаютъ около 83% всей вновь образующейся углекислоты. Взаимодѣйствіемъ этихъ процессовъ поддерживается то равновѣсіе, которое выражается настоящимъ содержаніемъ углекислоты. Въ прежнія геологическія эпохи, когда на земной поверхности преобладали тѣ или другіе процессы, балансъ этотъ могъ нарушаться и атмосфера наша получала избытокъ углекислоты или значительно очищалась отъ нея. Колебанія эти въ количествѣ углекислоты должны были неизбѣжно вліять на тепло-прозрачность атмосферы и, слѣдовательно, отражаться косвенно въ измѣненіяхъ климата [1]).

Такимъ образомъ углекислота совершаетъ двойной круговоротъ: одинъ — при посредствѣ растительныхъ и животныхъ организмовъ (разложеніе углекислоты зелеными частями растеній, образованіе ея при процессѣ дыханія, горѣнія и гніенія); другой—путемъ процессовъ неорганическаго міра. Когда количество углекислоты въ воздухѣ надъ океанической поверхностью уменьшается, то разлагается двууглекислый кальцій морской воды; онъ отдаетъ половину своей углекислоты воздуху, а оставшійся, нерастворимый, падаетъ на дно. Въ свою очередь, находящаяся въ воздухѣ углекислота, поглощенная атмосферными осадками, приносится на земную поверхность, растворяетъ здѣсь углекислую известь, необходимую для образованія двууглекислаго кальція и, такимъ образомъ, опять рѣками возвращается морю. Между углекислотой, связанной въ двууглекислой извести морской воды и углекислотой воздуха существуетъ равновѣсіе. Пониженіе температуры воды уменьшаетъ упругость связанной углекислоты океана, что влечетъ за собой уменьшеніе углекислоты воздуха. Болѣе низкая температура водъ океановъ южнаго полушарія объясняетъ уменьшеніе содержанія углекислоты въ этомъ полушаріи по отношенію къ сѣверному.

До сихъ поръ мы говорили о среднемъ содержаніи углекислоты. Но это количество претерпѣваетъ извѣстныя колебанія

---

[1]) См. интересную рѣчь академика Н. Н. Бекетова «Наша атмосфера во времени», произнесенную на съѣздѣ естествоиспытателей въ Кіевѣ 1898 года. (Дневникъ съѣзда).

Digitized by Google

во времени. Посреди суши замѣтны суточныя колебанія: въ дневные часы количество углекислоты меньше, чѣмъ въ ночные, какъ это можно видѣть изъ слѣдующихъ чиселъ [1]):

	Днемъ.	Ночью.
Гаити	27.04	29.20
Флорида . . .	28.97	29.47
Мартиника . .	27.35	28.50
Мексика . . .	26.65	28.60
Патагонія. . .	26.64	26.70
Чили	26.65	28.20

По наблюденіямъ въ обсерваторіи въ Монсури, близъ Парижа (1891—1898), среднее содержаніе углекислоты:

отъ 6 ч. утра до 6 ч. вечера. . .	31.0
» » » вечера » » » утра . . .	31.8

Колебанія эти объясняются вышеуказанной жизнедѣятельностью растеній подъ вліяніемъ дневного свѣта. Если это объясненіе справедливо, то въ мѣстности, лишенной растительности, суточныя колебанія должны исчезать. И дѣйствительно, наблюденія, произведенныя на мысѣ Горнъ, посреди скалъ, дали для дневной и для ночной части сутокъ одинаковыя почти количества углекислоты.

Посреди океана, суточныя колебанія въ количествѣ углекислоты имѣютъ обратный характеръ, т. е. максимумъ падаетъ на дневные часы, а минимумъ бываетъ ночью, что объясняется вліяніемъ температуры на выдѣленіе газа изъ морской воды.

Рядомъ съ основными составными частями воздуха, въ атмосферѣ нашей находятся многіе другіе химическіе элементы и ихъ соединенія въ крайне незначительномъ количествѣ. Присутствіе нѣкоторыхъ изъ этихъ веществъ является результатомъ разнообразныхъ процессовъ, совершающихся на земной поверхности и въ атмосферѣ (гніеніе, горѣніе, грозовая дѣятельность, фабричныя производства, выходъ газовъ изъ почвы и вулкановъ и т. п.). Распыленныя, во время бурь, частицы морской воды уносятся въ атмосферу на значительное разстояніе; на

[1]) Ebert. S. 14.

Digitized by Google

пути онѣ испаряются, оставляя въ атмосферѣ различныя вещества, которыя были въ ней растворены. Такимъ образомъ, можетъ быть объяснено присутствіе въ воздухѣ брома, іода, хлористаго натрія. Еще Schönbein въ Базелѣ нашелъ, что воздухъ, послѣ грозы, содержитъ 2—3 миллиграмма *озона* въ 100 кубическихъ метрахъ. Среднее содержаніе озона въ 100 кубическихъ метрахъ воздуха въ Монсури равно 1.6 миллиграмма. Количество озона претерпѣваетъ отъ одного дня къ другому значительныя колебанія, достигая максимума въ лѣтніе мѣсяцы (1.9 миллиграмма) и минимума—въ зимніе (1.3 миллиграмма). Въ лѣтніе мѣсяцы, какъ показали изслѣдованія Шене, преобладаетъ *перекись водорода*. Горный воздухъ содержитъ гораздо больше озона; такъ, въ 100 куб. метрахъ воздуха:

въ Шамуни,	на высотѣ	1050 метровъ,	найдено 3.7 мгр.
на Grands-Mulets	»	3050 »	» 9.4 »

Озонъ играетъ въ природѣ весьма важную роль вслѣдствіе своихъ сильно окислительныхъ свойствъ (горный и лѣсной воздухъ).

Водородъ, присутствіе котораго въ воздухѣ вовсе отвергалось, найденъ Gautier въ 1901 году. Въ 100 литрахъ воздуха содержится, по Gautier, отъ 17.5 до 24.0 кубич. сантиметр. водорода (0.0198% по объему). Rayleigh допускаетъ содержаніе водорода въ количествѣ, не превышающемъ 0.0033%, а по Dewar'у оно равно 0.001%. Въ самое послѣднее время Edward Coates, въ лабораторіи Ramsay'a, нашелъ, что содержаніе водорода гораздо меньше, чѣмъ то, которое найдено опытами Gauthier и не превосходитъ 0.000067% (Proceedings of the Royal Society. 1106. Vol. 78, p. 479).

Содержаніе *амміака* распредѣлено довольно равномѣрно въ теченіе всего года. Изъ 18-тилѣтнихъ наблюденій въ обсерваторіи Монсури, среднее содержаніе амміака составляетъ 2.0 миллиграмма въ 100 кубич. метрахъ воздуха (максимумъ 2.2 миллиграмма отъ іюня до октября и минимумъ 1.7 мгр. въ февралѣ). Въ центрѣ Парижа количество амміака больше:

октябрь	1903 г.	. .	2.5 миллиграмма
ноябрь	»	. .	2.5 »
декабрь	»	. .	2.1 »

Digitized by Google

На вершинѣ Pic-du-Midi (2880 метровъ), на югѣ Франціи, Müntz и Aubin нашли только 1.35 миллиграмма.

Подъ вліяніемъ грозовыхъ разрядовъ въ воздухѣ образуется незначительное количество азотной кислоты, которая уносится осадками на земную поверхность и доставляетъ почвѣ нѣкоторый запасъ азота.

Атмосферная пыль и пылемѣръ Айткена. Значительную роль въ физической жизни нашей планеты играетъ пыль, постоянно суспендированная въ атмосферѣ и образующая своего рода *пылевую атмосферу* значительной мощности. Присутствіе пыли въ атмосферѣ измѣняетъ ея прозрачность и разсѣивающую способность. Образуя легкій покровъ надъ земной поверхностью, она уменьшаетъ нѣсколько интенсивность дневныхъ нагрѣваній и ночныхъ охлажденій. Наконецъ, въ недавнее время, явилось предположеніе, что пылинки необходимы для образованія дождя: каждая пылинка является ядромъ, около котораго начинается процессъ сгущенія паровъ. Высказана была даже мысль, что «безъ пыли нѣтъ осадковъ». Хотя это крайнее воззрѣніе не подтвердилось дальнѣйшими изслѣдованіями, тѣмъ не менѣе, отсутствіе пыли значительно задерживаетъ процессъ сгущенія и, до нѣкоторой степени, можетъ удержать пары воды въ пересыщенномъ состояніи. Атмосферная пыль образуется изъ мелкихъ обломковъ, неорганическихъ и органическихъ, поднятыхъ вѣтромъ (мелкія части породъ, составляющихъ земную кору. части растительныхъ и животныхъ организмовъ), вулканической пыли и организованныхъ тѣлъ (бактеріи, плѣсень). Наконецъ, нѣкоторые ученые допускаютъ возможность существованія пыли *космическаго* происхожденія, какъ результатъ распыленія метеоритовъ [1]). Пыль эта образуетъ, какъ мы сказали, особую пылевую атмосферу, окутывающую земной шаръ и пульсирующую подъ вліяніемъ нагрѣваній и охлажденій. Въ дневные часы восходящія теченія уносятъ пыль въ болѣе высокіе слои, увеличивая мощность пылевой атмосферы; ночью происходитъ обратное. Пылевая атмосфера простирается, замѣтнымъ образомъ, до высоты около 5000 метровъ. О количествѣ этой пыли въ нижнихъ слояхъ земной атмосферы можно судить на основаніи наблюде-

[1]) Водяная пыль (капли дождя и тумана, ледяные кристаллы) будетъ подробно разсмотрѣна въ особой главѣ.

Digitized by Google

ній Tissandier въ Парижѣ. Tissandier выставлялъ въ тихія, безвѣтренныя ночи, въ слегка наклонномъ положеніи, листъ бумаги въ 1 квадр. метръ. По истеченіи 24 часовъ, пыль осторожно собирали кисточкой, взвѣшивали и подвергали микроскопическому и химическому анализу. Въ другихъ случаяхъ, извѣстный объемъ испытуемаго воздуха пропускали черезъ дистиллированную воду, затѣмъ воду выпаривали и взвѣшивали твердый остатокъ. Примѣняли, наконецъ, особые приборы, собирающіе пыль (аэроскопы)[1]). Такимъ путемъ найдено, что, въ кубич. метрѣ воздуха, заключалось слѣдующее вѣсовое количество пыли:

послѣ сильнаго дождя . . . . . 0.0060 грамма,
» 8-дневной тихой погоды . . . 0.0230 » ,
при нормальныхъ условіяхъ . 0.0060—0.0080 » .

Въ открытомъ полѣ Tissandier нашелъ:

при нормальныхъ условіяхъ . . . . 0.00025 грамма,
послѣ періода засухи . . . . 0.003—0.0045 » .

Чтобы иллюстрировать найденные результаты, Tissandier дѣлаетъ слѣдующій подсчетъ: въ слоѣ воздуха, отъ поверхности земли до высоты 5 метровъ, надъ площадью Марсова поля въ Парижѣ (500000 квадр. метровъ), вѣсъ суспендированной пыли равенъ 15 килограммамъ. Количество пыли, осаждающейся въ 24 часа на поверхность одного квадратнаго метра, колеблется въ различные дни отъ 0.0021 до 0.0081 грамма. Въ одномъ литрѣ выпадающаго изъ атмосферы дождя найдено 0.0250—0.1720 грамма. Что касается снѣга, то въ одномъ литрѣ растаявшаго снѣга:

	Парижѣ.	На башнѣ Notre-Dame.	Въ открытомъ полѣ.
первый снѣгъ . . .	0.212	0.118	0.104 грамма,
позже	0.108	0.056	0.048 »

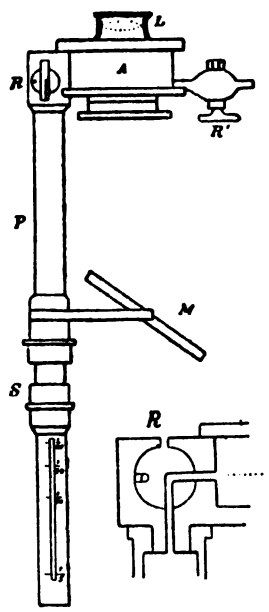
Химическое изслѣдованіе пыли обнаружило 35—24% сгораемыхъ веществъ и 65—76% несгораемыхъ. Кромѣ того, найдены частицы, которымъ слѣдуетъ приписать космическое происхожденіе (желѣзо въ сопровожденіи никкеля и кобальта).

Вопросъ объ изученіи атмосферной пыли сдѣлалъ значительные успѣхи послѣ того, какъ Aitken устроилъ приборъ, по-

[1]) См. выше указанныя изданія обсерваторіи Montsouris.

Digitized by Google

мощью котораго можно опредѣлить число пылинокъ, заключенныхъ въ извѣстномъ объемѣ воздуха. Принципъ прибора обоснованъ на томъ, что, при быстромъ расширеніи насыщеннаго парами воздуха, часть паровъ переходитъ въ жидкое состояніе; при этомъ, находящіяся въ воздухѣ пылинки являются первоначальными ядрами осажденія паровъ. Допустимъ, что извѣстный объемъ воздуха, насыщеннаго парами, и находящагося въ замкнутомъ сосудѣ *A* (фиг. 56), подвергается многократно быстрымъ расширеніямъ, при помощи насоса *P*; пылинки, на которыхъ осаждается влага, дѣлаются тяжелѣе и падаютъ внизъ. При повтореніи этой операціи, взятый нами объемъ воздуха, мало по малу, почти совершенно очищается отъ пыли. Если теперь, въ это пространство, введемъ изслѣдуемый воздухъ, то, послѣ разрѣженія, опять образуются капли, которыя будутъ падать на дно сосуда. Остается только сосчитать число упавшихъ капель. Для этой цѣли дно сосуда представляетъ стеклянную прозрачную пластинку, раздѣленную на квадратные миллиметры и хорошо освѣщенную снизу зеркаломъ *M*. Число капель дастъ число пылинокъ въ опредѣленномъ объемѣ воздуха [1]).



Фиг. 56.

Въ послѣднее время при помощи прибора Aitken'a произведены уже многочисленныя наблюденія. Меньше всего пыли содержится въ воздухѣ послѣ продолжительнаго періода дождя или снѣга; особенно много пыли въ замкнутыхъ помѣщеніяхъ. Въ слѣдующей таблицѣ показано число пылинокъ въ каждомъ кубическомъ сантиметрѣ воздуха:

въ открытомъ мѣстѣ послѣ ночного дождя	32000
» » » » сухой, хорошей погоды . .	130000

[1]) Melander. Sur la condensation de la vapeur d'eau dans l'atmosphère. Helsingfors. 1897.

Digitized by Google

въ комнатѣ, съ двумя газовыми рожками, на высотѣ
1.2 метра надъ поломъ 1860000
тоже, но на разстояніи 1.2 метра отъ потолка. . . 5420000
въ воздухѣ надъ пламенемъ бунзеновской горѣлки . 30000000

Вообще, число пылинокъ увеличивается по мѣрѣ уменьшенія относительной влажности. Число пылинокъ въ кубическомъ сантиметрѣ уменьшается также съ высотою, какъ это видно изъ наблюденій Aitken'a на Monte-Mottorone:

	0 м.	300 м.	450 м.	600 м.
при восходящемъ теченіи воздуха изъ долины .	4857	4750	3430	3125
при другихъ вѣтрахъ .	4743	3270	2195	1453

Изъ этой таблицы видно, что восходящія теченія значительно поднимаютъ высоту пылевой атмосферы. Помутнѣнія атмосферы пылью также невелики посреди большихъ снѣговъ альпійскихъ полей. Воздухъ, находящійся надъ большими водными пространствами, въ значительной степени освобожденъ отъ пыли. Такъ напр., на Ben Nevis (въ Шотландіи) Aitken нашелъ, что при вѣтрѣ, дующемъ съ Атлантическаго океана, число пылинокъ падаетъ до 72. Вотъ еще нѣсколько новыхъ опредѣленій Melander'a:

въ Лоймоиѣ въ Финляндіи.	300—4000 въ куб. сант.
» Бисарѣ (сѣв. граница Сахары) .	до 30375 » » »
на островѣ, лежащемъ въ 17 верст. отъ Христіанзунда при СВ. вѣтрахъ (съ моря)	1300 » » »
тамъ же при ЮВ. вѣтрѣ (съ берега)	84000 » » »
» » абсолютный минимумъ. . .	130 » » »
» » » максимумъ . .	102000 » » »

Пылинокъ больше въ сухомъ воздухѣ, чѣмъ во влажномъ; днемъ больше, чѣмъ ночью.

	Max.	Min.
На Rigi-Culm (1880 м.) при вѣтрѣ, дующемъ съ горъ	1305	421
» » » при вѣтрѣ, дующемъ изъ населенныхъ мѣстъ . .	5755	1092

Digitized by Google

	Max.	Min.
на вершинѣ Эйфелевой башни	104000	226
» метеорологич. обсерваторіи Парижа .	210000	160000
» улицѣ Викторіи въ Лондонѣ	140000	100000
въ городѣ Глазго (зимою).	470000	170000
на Ben Nevis	144000	0
въ Эдинбургѣ (зимою)	250000	45000

Морской и горный воздухъ бѣденъ пылью, какъ видно изъ слѣдующаго:

	Изъ Средиземнаго моря	Изъ Альпъ	Изъ Атлант. океана
среднее. . . .	1600	890	340
минимумъ. . .	890	380	70

Въ ходѣ явленія на Ben Nevis можно подмѣтить суточный періодъ:

часы	1 пн.	4	7	10	1 пд.	4	7	10
число пылинокъ въ 1 куб. сант.	736	**526**	576	551	950	**1438**	1035	1029

Максимумъ пыли совпадаетъ съ минимумомъ относительной влажности и максимумомъ развитія восходящихъ токовъ. Интересны наблюденія, произведенныя Lüdeling'омъ на Helgoland'ѣ лѣтомъ 1903 года [1]). Изъ этихъ изслѣдованій видно, что въ отдѣльныхъ случаяхъ число пылинокъ достигало 100000 и болѣе въ одномъ кубическомъ сантиметрѣ воздуха.

Кромѣ органическихъ и неорганическихъ обломковъ, въ атмосферѣ находится организованная пыль—бактеріи и плѣсневые грибки. Правильныя и непрерывныя наблюденія надъ числомъ бактерій производятся въ обсерваторіи Montsouris въ Парижѣ. Изъ десятилѣтнихъ наблюденій (1890—1899) среднее мѣсячное число бактерій и плѣсневыхъ грибковъ въ каждомъ кубическомъ метрѣ воздуха на площади Saint-Gervais выразилось слѣдующими числами:

---

[1]) Cм. Ergebnisse der Meteorologischen Beobachtungen in Potsdamm. Berlin. 1904, S. XXIII.

Digitized by Google

	Бактеріи.	Плѣсень.		Бактеріи.	Плѣсень.
январь . .	3805	1825	іюль . . .	11540	2740
февраль .	3425	1730	августъ . .	10530	2630
мартъ . .	4495	1640	сентябрь .	8830	2655
апрѣль . .	8460	1800	октябрь . .	7150	2725
май . . .	8960	1675	ноябрь . .	5640	2370
іюнь . . .	10285	2000	декабрь . .	4380	2210
	годъ . . .		7290	2165	

Число организованной пыли быстро уменьшается при переходѣ къ океанамъ, а также къ полярнымъ странамъ.

Изъ сказаннаго видно, что пыль вообще образуетъ атмосферу, которая крайне неравномѣрно распредѣлена въ пространствѣ. Она сгущена надъ сушей и разрѣжена надъ океанами. Распредѣленіе надъ сушей, въ данный моментъ, находится въ зависимости отъ большей или меньшей сухости воздуха и отъ направленія вѣтра. Съ высотою плотность пылевой атмосферы убываетъ до верхнихъ предѣловъ ея распространенія, достигающихъ, по всей вѣроятности, высоты 5000 метровъ. Вся эта атмосфера пульсируетъ, подымаясь или опускаясь, вслѣдъ за повышеніемъ или пониженіемъ температуры и развитіемъ восходящихъ и нисходящихъ токовъ воздуха. Въ атмосферѣ нашей возможны настоящія пылевыя бури, сопровождающіяся поднятіемъ огромнаго количества пыли, уносимой вѣтрами на значительное разстояніе. Бури эти способствуютъ видоизмѣненію рельефа, срывая въ одномъ мѣстѣ болѣе или менѣе значительные слои земли и насыпая въ другомъ цѣлые пласты наносной почвы. Двѣ такія пыльныя бури, господствовавшія на юго-западѣ Россіи въ 1892 году, описаны въ изданіяхъ метеорологической обсерваторіи Новороссійскаго университета [1]). Перенесеніемъ земляныхъ частицъ обусловлено, между прочимъ, образованіе, такъ называемыхъ, «лёссовыхъ почвъ». Къ тѣмъ же временнымъ вспышкамъ можно отнести накопленіе *вулканической* пыли въ атмосферѣ послѣ изверженія вулкана Кракатау въ августѣ 1883 года.

---

[1]) См. Метеорологическое Обозрѣніе. Труды метеорологической сѣти юго-запада Россіи въ 1892 году, статья С. Г. Попруженко и анализъ пыли профессора М. Д. Сидоренко.

Digitized by Google

Литературныя указанія.

А) *Распространеніе атмосферы.*

1) Neumann. Einleitung in die theoretische Physik, S. 168.

2) Laplace. Exposition du système du monde. Paris. 1796.

3) Thiesen. Ueber die Verbreitung der Atmosphäre. Berlin. 1878.

4) *Exner. Unsere Atmosphäre. Wien. 1880.

5) Ritter. Untersuchungen über die Höhe der Atmosphäre und über die Konstitution gasformiger Weltkörper.

6) Smoluchowsky. Ueber die Atmosphäre der Erde und der Planeten. Physikalische Zeitschrift. 1902, № 20, S. 307.

Б) *Составъ атмосферы.*

1) *Annales de l'observatoire municipal de Montsouris, особенно новая серія, томы I—IV (1900—1903 годы).

2) *Henriet. Les gaz de l'atmosphère.

3) *William Ramsay. The gases of the atmosphere. London. 1891. Французскій переводъ, изданъ въ 1898 году.

4) *Blucher. Die Luft. Leipzig. 1900.

5) *Tissandier. Les poussières de l'atmosphère.

6) *Melander. Sur la condensation de la vapeur d'eau dans l'atmosphère. 1897.

7) *Veröffentlich. der Preuss. Meteorologisch. Instituts. 1904.

II.

Физическія свойства атмосферы.

Законы Бойля-Маріотта и Гей-Люссака. Вѣсъ кубическаго метра воздуха. Давленіе воздуха. Барометрическая формула. Таблицы Шарнгорста и Фоглера. Формула Babinet и ея приложенія. Ходъ гипсометрической съемки. Приведеніе давленія къ уровню моря. Законъ Dalton'a и его слѣдствія. Высота однородной атмосферы. Теплоемкость воздуха при постоянномъ давленіи и постоянномъ объемѣ. Основное уравненіе механической теоріи тепла. Восходящіе и нисходящіе токи. Фёнъ. Теплопроводность воздуха. Свѣто- и теплопрозрачность. Литературныя указанія.

Законъ Бойля-Маріотта и Гей-Люссака. Основные газы, входящіе въ составъ атмосферы, подчиняются, какъ извѣстно, слѣдующимъ законамъ:

Digitized by Google

1) Законъ Бойля-Маріотта, по которому объемъ даннаго количества газа, при постоянной температурѣ, обратно пропорціоналенъ внѣшнему давленію (или упругость даннаго количества газа обратно пропорціональна его объему). Изслѣдованія Менделѣева (1874—1876) показали, что, въ предѣлахъ давленій отъ 5 до 650 мм, воздухъ сжимается менѣе, чѣмъ слѣдуетъ по закону Маріотта. Отступленія уменьшаются по мѣрѣ приближенія къ 650 мм. Fuchs (1888) подтвердилъ результаты Менделѣева. Изъ этого видно, что примѣненіе закона Маріотта къ верхнимъ слоямъ атмосферы, гдѣ давленіе значительно ниже указаннаго предѣла (650 мм.), можетъ внести нѣкоторыя погрѣшности. Такъ какъ всѣ наши барометрическія формулы основаны на законѣ Маріотта, то примѣненіе ихъ для вычисленія значительныхъ высотъ, напримѣръ высотъ, до которыхъ поднимаются наши шары-зонды [1]), даетъ не вполнѣ точные результаты. Законъ этотъ вѣренъ для болѣе низкихъ слоевъ атмосферы. Пусть v и v_1 будутъ объемы газа при давленіяхъ p и p_1 и одной и той же температурѣ t. По закону Маріотта $p : p_1 = v_1 : v$ или $pv = p_1 v_1 =$ постоянной.

2) Законъ Гей-Люссака. Коэффиціентъ расширенія газовъ, нагрѣваемыхъ при неизмѣнномъ внѣшнемъ давленіи, есть величина постоянная и притомъ для всѣхъ газовъ одна и таже, а именно

$$\alpha = \frac{1}{273} = 0.00366.$$

Возьмемъ единицу массы газа (1 килограммъ) и обозначимъ его объемъ (удѣльный объемъ) черезъ v. Пусть, при температурѣ 0^0 и нормальномъ давленіи p_0, объемъ того же газа будетъ v_0. Не измѣняя давленія, нагрѣемъ газъ до температуры t^0. На основаніи закона Гей-Люссака

$$v_t = v_0 (1 + \alpha t)$$

или

$$v_0 = \frac{v_t}{1 + \alpha t} \qquad (1)$$

[1]) Во время поднятія шара-зонда изъ Траппа близъ Парижа, 26 іюня 1898 г., барометръ опустился до 121.6 мм., а барометръ, на шарѣ-зондѣ, пущенномъ изъ Шарлотенбурга 7 іюля 1894 года, показалъ ниже 85 мм.

Digitized by Google

Положимъ, что данная масса газа

при давленіи p_1 и температурѣ t_1 имѣетъ объемъ v_1,

» » p_2 » » t_2 » » v_2.

Приведемъ, на основаніи уравненія (1), объемы v_1 и v_2 къ температурѣ 0^0. Тогда

при давленіи p_1 и температурѣ 0^0 объемъ будетъ $\frac{v_1}{1+\alpha t_1}$.

» » p_2 » » 0^0 » » $\frac{v_2}{1+\alpha t_2}$.

Но, по закону Маріотта,

$$p_1 : p_2 = \frac{v_2}{1+\alpha t_2} : \frac{v_1}{1+\alpha t_1},$$

$$\frac{p_1 v_1}{1+\alpha t_1} = \frac{p_2 v_2}{1+\alpha t_2} = \text{постоянной}.$$

Обозначимъ черезъ v_0 удѣльный объемъ газа при температурѣ 0^0 и нормальномъ давленіи p_0; тогда

$$\frac{p_1 v_1}{1+\alpha t_1} = p_0 v_0,$$

но $\alpha = \frac{1}{273}$, слѣд.,

$$p_1 v_1 = \frac{p_0 v_0}{273}(273+t_1).$$

Обозначая $\frac{p_0 v_0}{273} = R$ и $273+t_1 = T_1$,

получимъ

$$p_1 v_1 = RT_1 \quad \text{или вообще}$$

$pv = RT$, гдѣ T—абсолютная температура.

Послѣднее уравненіе можно разсматривать какъ аналитическое выраженіе законовъ Маріотта и Гей-Люссака [1]).

Вѣсъ кубическаго метра воздуха. Воздушная оболочка давитъ на земную поверхность. Давленіе это измѣряется вѣсомъ столба ртути, поднятаго въ барометрѣ. Если высота ртути равна

[1]) Замѣтимъ, что давленіе выражено здѣсь въ килограммахъ на квадратный метръ, объемъ въ кубическихъ метрахъ, отнесенный къ единицѣ массы газа (удѣльный объемъ).

Digitized by Google

h сантиметровъ, то давленіе p, выраженное въ килограммахъ на квадратный метръ, будетъ

$$p = h\ 13.596$$

гдѣ 13.596 есть удѣльный вѣсъ ртути.

Нормальнымъ давленіемъ считаютъ давленіе столба ртути въ 76 сантиметровъ высоты, взятаго на уровнѣ моря подъ 45° широты, гдѣ напряженіе тяжести равно g_{45}. Это давленіе равно $p_0 = 10333$ килограмма на квадратный метръ. При этихъ условіяхъ $v_0 = 0.7733$ кубич. метра.

Нетрудно опредѣлить вѣсъ кубич. единицы воздуха. Извѣстно, что, при температурѣ 0°, нормальномъ давленіи p_0, на уровнѣ моря и подъ широтою 45°, вѣсъ одного кубическаго метра сухого воздуха,

$$G_0 = 1.29305 \text{ килограмм.}$$

Очевидно, что, на основаніи законовъ Маріотта и Гей-Люссака, вѣсъ кубич. метра сухого воздуха при давленіи $p-e$, температурѣ t, подъ широтою φ и на высотѣ h, гдѣ напряженіе тяжести g, выражается формулой

$$G_1 = 1.29305 \frac{p-e}{10333} \cdot \frac{1}{1+\alpha t} \cdot \frac{g}{g_{45}}$$

Если воздухъ влаженъ и упругость водяныхъ паровъ равна e, то, какъ будетъ доказано ниже, вѣсъ паровъ, заключенныхъ въ кубическомъ метрѣ,

$$G_2 = 1.29305 \frac{e}{10333} \cdot \frac{1}{1+\alpha t} \cdot \frac{g}{g_{45}} \cdot 0.622.$$

Вѣсъ кубическаго метра влажнаго воздуха упругость котораго p

$$S = G_1 + G_2 = 1.29305 \frac{p}{10333} \cdot \frac{1}{1+\alpha t} \left(1 - 0.378 \frac{e}{p}\right) \frac{g}{g_{45}}.$$

Но изъ ученія о напряженіи тяжести (стр. 56) извѣстно:

$$\frac{g}{g_{45}} = (1 - 0.0026\ Cos 2\varphi)(1 - \beta h),$$

слѣд.,

$$S = \frac{p}{7991} \cdot \frac{1}{1+\alpha t} \cdot \left(1 - 0.378 \frac{e}{p}\right)(1 - 0.0026\ Cos 2\varphi)(1 - \beta h).$$

Digitized by Google

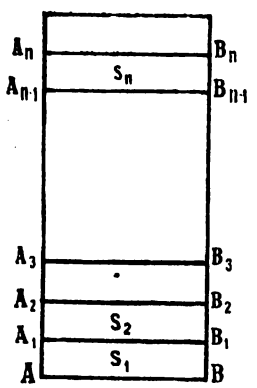
Давленіе воздуха. Всей массой своей воздушная оболочка производитъ на поверхность земли извѣстное давленіе. Въ состояніи равновѣсія, каждый слой находится подъ давленіемъ, равнымъ вѣсу всѣхъ слоевъ, расположенныхъ выше по вертикальному направленію. Давленіе это уравновѣшивается упругостью слоя; слѣдовательно, въ состояніи равновѣсія, давленіе и упругость воздуха равнозначны и равны вѣсу всѣхъ выше лежащихъ слоевъ. Измѣряя давленіе, мы, тѣмъ самымъ, измѣряемъ вѣсъ слоевъ выше лежащихъ. Это заключеніе справедливо для состоянія равновѣсія. Если воздухъ, въ данномъ мѣстѣ, быстро нагрѣвается, то упругость его увеличивается и она можетъ быть, нѣкоторое время, больше вѣса выше лежащихъ слоевъ. Точно также, если въ извѣстномъ объемѣ происходитъ сгущеніе паровъ, упругость уменьшается на величину упругости сгустившихся паровъ. Но, вслѣдствіе крайней подвижности воздуха, эти разности весьма скоро уравниваются. Тѣмъ не менѣе, мы будемъ ближе къ истинѣ, если скажемъ, что наши приборы измѣряютъ, въ каждый данный моментъ, упругость того слоя, въ которомъ они помѣщены. Если въ воздухѣ суспендированы постороннія частицы, то онѣ тоже увеличиваютъ удѣльный вѣсъ воздуха, а слѣдовательно, и давленіе. Но это увеличеніе ничтожно. Найдено, что въ 1 кубич. метрѣ плотныхъ кучевыхъ облаковъ заключается не болѣе 5 граммовъ воды; если возьмемъ облако мощностью въ 1000 метровъ, то общій вѣсъ воды въ немъ будетъ 5 килограммовъ. Средняя величина давленія равна 10333 кил. на квадратный метръ; слѣдовательно, вѣсъ воды составитъ $\frac{5}{10333}$ всего давленія атмосферы, что соотвѣтствуетъ 0.4 мм. барометрическаго столба. Если атмосфера находится въ движеніи, то это необходимо должно отразиться на давленіи. При восходящемъ токѣ, давленіе на основаніе воздушнаго столба уменьшается, при нисходящемъ—увеличивается. Но токи эти вообще имѣютъ незначительные поперечные размѣры, а слѣдовательно, могутъ вызвать лишь мѣстныя колебанія давленія. Интересны колебанія барометра передъ и во время дождя, особенно въ лѣтнее грозовое время. Обыкновенно до грозы бываютъ восходящіе токи; вслѣдствіе чего, давленіе понижается. Въ восходящемъ потокѣ происходитъ сгущеніе паровъ, что влечетъ за собой дальнѣйшее пониженіе. Но, съ началомъ спльнаго

Digitized by Google

дождя, восходящій токъ прекращается; кромѣ того, падающія капли дождя увлекаютъ внизъ частицы воздуха и способствуютъ образованію *нисходящаго* тока, подъ вліяніемъ котораго упругость въ нижнихъ слояхъ увеличивается; увеличенію давленія способствуетъ также и то обстоятельство, что, при паденіи дождя, увлекаются внизъ частицы съ довольно значительной высоты, т. е. частицы болѣе холодныя, увеличивающія плотность воздуха. Этими соображеніями можно объяснить характерный ходъ давленія во время грозы: кривая давленія падаетъ внизъ и, съ началомъ дождя, образуетъ рѣзкій скачекъ вверхъ.

Временныя и мѣстныя измѣненія упругости, а слѣдовательно, соотвѣтствующія измѣненія давленія можно наблюдать также при прохожденіи, черезъ данное мѣсто, продольной волны, вызванной сильными взрывами въ атмосферѣ. Подобныя мелкія колебанія давленія отмѣчены, напримѣръ, барографами Европы во время вулканическихъ изверженій 1883 года въ Зондскомъ проливѣ.

Барометрическая формула. Исходя изъ законовъ Маріотта и Гей-Люссака, выведемъ формулу, выражающую измѣненіе давленія съ высотою. Изъ всей массы атмосферы, вырѣжемъ мысленно вертикальный столбъ воздуха ABA_nB_n (фиг. 57) отъ поверхности земли до крайнихъ предѣловъ атмосферы, основаніе котораго равно 1 квадратному метру. Разсѣчемъ этотъ столбъ рядомъ горизонтальныхъ плоскостей, отстоящихъ другъ отъ друга на 1 метръ. Объемъ каждой изъ пластинокъ ABA_1B_1, $A_1B_1A_2B_2$ и т. д. равенъ одному кубическому метру. Обозначимъ давленія воздуха на сѣченія AB, A_1B_1, A_2B_2 и т. д. буквами p, p_1, p_2,... а вѣсъ пластинокъ—S_1, S_2... Очевидно, давленіе воздуха на сѣченіе A_1B_1 будетъ меньше, чѣмъ на сѣченіе AB на вѣсъ пластинки ABA_1B_1; давленіе на сѣченіе A_2B_2 еще уменьшится на вѣсъ пластинки $A_1B_1A_2B_2$ и т. д. Вообще, давленіе атмосферы, при переходѣ отъ одного сѣченія къ непосредственно слѣдующему, уменьшается на вѣсъ пройденнаго слоя, т. е.



Фиг. 57.

Digitized by Google

$$\begin{aligned} p - p_1 &= S_1 \\ p_1 - p_2 &= S_2 \\ p_2 - p_3 &= S_3 \\ &\cdots\cdots\cdots \\ &\cdots\cdots\cdots \\ p_{n-1} - p_n &= S_n. \end{aligned} \qquad (2)$$

Если бы вѣсъ всѣхъ пластинокъ былъ одинаковъ или измѣнялся по извѣстному простому закону, то нетрудно было бы опредѣлить давленіе на любой высотѣ. Въ дѣйствительности же, измѣненіе вѣса отдѣльныхъ пластинокъ довольно сложно и требуетъ вывода особой, такъ называемой, *барометрической* формулы [1]). Допустимъ, что взятый нами вертикальный столбъ воздуха имѣетъ одну и ту же температуру равную нулю. Тогда, на основаніи закона Маріотта, вѣсъ каждой пластинки пропорціоналенъ давленію, подъ которымъ она находится, т. е.

$$\begin{aligned} S_1 &= kp_1 \\ S_2 &= kp_2 \\ &\cdots\cdots \\ S_n &= kp_n \end{aligned}$$

и вообще $S = kp.$ (3)

Внося эти значенія въ уравненія (2), получимъ

$$\begin{aligned} p &= p_1 + kp_1 \\ p_1 &= p_2 + kp_2 \\ &\cdots\cdots\cdots \\ &\cdots\cdots\cdots \\ p_{n-1} &= p_n + kp_n \end{aligned} \qquad \text{или} \qquad \begin{aligned} p &= p_1(1+k) \\ p_1 &= p_2(1+k) \\ &\cdots\cdots\cdots \\ &\cdots\cdots\cdots \\ p_{n-1} &= p_n(1+k) \end{aligned}$$

Перемножая соотвѣтственно обѣ части этихъ уравненій, имѣемъ:

$$p \cdot p_1 \cdot p_2 \cdot \cdots\cdots p_{n-1} = p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \cdot \cdots\cdots p_{n-1} \cdot p_n \cdot (1+k)^n$$

Произведемъ соотвѣтствующія сокращенія:

$$\frac{p}{p_n} = (1+k)^n.$$

Логариѳмируемъ обѣ части равенства

$$log \frac{p}{p_n} = n log\,(1+k)$$

[1]) Болѣе точный выводъ формулы помѣщенъ въ «Приложеніяхъ».

Digitized by Google

Во второй части замѣнимъ обыкновенный логариѳмъ натуральнымъ

$$log\frac{p}{p_n}=nLog\,(1+k)\,M,$$

гдѣ M (модуль)=0.43426. Въ началахъ высшаго анализа доказывается, что $Log\,(1+k)$, гдѣ k—небольшая правильная дробь, можно разложить въ строку

$$Log\,(1+k)=k-\frac{k^2}{2}+\frac{k^3}{3}-\ldots.$$

Но, какъ увидимъ далѣе, коэффиціентъ k равенъ дѣйствительно весьма малой правильной дроби, а потому, безъ большой погрѣшности, можно ограничиться первымъ только членомъ:

$$log\frac{p}{p_n}=nkM. \qquad (4)$$

Остается опредѣлить коэффиціентъ k. Для этого вспомнимъ, что вѣсъ кубическаго метра воздуха выражается слѣдующимъ образомъ (см. стр. 136)

$$S=\frac{p}{7991}\cdot\frac{1}{1+\alpha t}\left(1-0.378\frac{e}{p}\right)(1-0.0026\,Cos2\varphi)\,(1-\beta h).$$

Сравнивая это уравненіе съ (3), находимъ:

$$k=\frac{1}{7991}\cdot\frac{1}{1+\alpha t}\left(1-0.378\frac{e}{p}\right)(1-0.0026\,Cos2\varphi)\,(1-\beta h).$$

Подставляя въ (4) и произведя дѣйствія, получимъ:

$$n=18401.2\,(1+\alpha t)\frac{1}{1-0.378\frac{e}{p}}\;\frac{1}{1-0.0026\,Cos2\varphi}\;\frac{1}{1-\beta h}\,log\frac{p}{p_n}$$

или:

$$n=18401.2(1+0.00366t)\left(1+0\,378\frac{e}{p}\right)(1+0.0026Cos2\varphi)\,(1+\beta h)\,log\frac{p}{p_n}$$

Эта формула называется формулой *барометрическаго нивеллированія*. Въ этой формулѣ, отношеніе давленій $\frac{p}{p_n}$, выраженное въ килограммахъ на квадратный метръ, можно замѣнить отноше-

Digitized by Google

ніемъ барометрическихъ высотъ, измѣренныхъ въ одинъ и тотъ же моментъ.

Барометрическая формула даетъ возможность рѣшить одну изъ трехъ задачъ:

1) зная давленіе, температуру и абсолютную влажность на верхней и нижней станціи, можно вычислить n, т. е. разность уровней двухъ станцій;

2) зная давленіе, температуру, абсолютную влажность на нижней станціи, а также, если извѣстенъ законъ уменьшенія температуры и влажности съ высотою, можно вычислить давленіе воздуха на любой высотѣ;

3) зная давленіе, температуру и влажность на верхней станціи, высоту этой станціи и законъ измѣненія температуры и влажности съ высотою, можно опредѣлить давленіе на нижней станціи.

Рѣшеніе каждаго изъ этихъ вопросовъ по общей формулѣ требуетъ весьма сложныхъ вычисленій. Для облегченія вычисленій, эта формула разлагается въ таблицы, значительно упрощающія технику дѣла. Такія таблицы можно найти въ сочиненіяхъ Rühlmann'a, Schreiber'a, Bauernfeind'a, Liznar'a [1]).

Остановимся нѣсколько подробнѣе на первой изъ указанныхъ задачъ: опредѣленіе разности уровней двухъ станцій (барометрическое нивеллированіе). Изъ общей формулы видно, что, для опредѣленія разности уровней двухъ станцій, нужно знать величины t, $\frac{e}{p}$, φ, h, p и p_n. Количество t, представляетъ среднюю температуру столба воздуха, заключеннаго между нижней и верхней станціей. Но если t_1 есть температура нижней, а t_n—температура верхней станціи, то, безъ значительной погрѣшности, можно вмѣсто t подставить среднее ариѳметическое

$$t=\frac{t_1+t_n}{2}.$$

На томъ же основаніи

$$\frac{e}{p}=\frac{1}{2}\left(\frac{e_1}{p_1}+\frac{e_n}{p_n}\right)$$

и

$$\varphi=\frac{\varphi_1+\varphi_n}{2}.$$

[1]) См. литературныя указанія въ концѣ этой главы.

Digitized by Google

Такъ какъ $\beta=0.000000196$, то произведеніе βh весьма, малая величина, и множитель $(1+\beta h)$ мало отличается отъ единицы а потому, безъ большой погрѣшности, этимъ множителемъ можно пренебречь.

Таблицы Шарнгорста и Фоглера [1]). Если разность высотъ не превышаетъ 500—600 метровъ, то пользуются таблицами Шарнгорста. Въ этомъ случаѣ, въ формулѣ можно отбросить множители, содержащіе φ, $\frac{e}{p}$, h и написать ее въ слѣдующемъ видѣ:

$$n=18401.2\,(1+\alpha t)\,lg\left(\frac{p}{p_n}\right),$$

но т. к. у Шарнгорста результаты даются не въ метрахъ, а въ футахъ, то

$$n=60463.4\,(1+\alpha t)\,lg\left(\frac{p}{p_n}\right).$$

Разложимъ эту формулу въ таблицы и для этой цѣли сдѣлаемъ въ ней нѣкоторыя преобразованія. Очевидно, что

$$lg\left(\frac{p}{p_n}\right)=lg\left(\frac{760}{p_n}\right)-lg\left(\frac{760}{p}\right);$$

подставивъ это выраженіе въ послѣднюю формулу, получимъ:

$$n=\left[60463.4\;lg\left(\frac{760}{p_n}\right)-60463.4\;lg\left(\frac{760}{p}\right)\right].(1+\alpha t).$$

Обозначимъ уменьшаемое въ этомъ выраженіи черезъ H_n, а вычитаемое черезъ H. Тогда формула приметъ такой видъ:

$$n=(H_n-H)(1+\alpha t) \text{ или } n=(H_n-H)+(H_n-H).\alpha t.$$

Шарнгорстъ, разъ навсегда, вычислилъ H_n и H, давая p_n всевозможныя значенія, такъ что по давленію p можно всегда найти H_n и H. Въ другой таблицѣ вычислены произведенія $(H_n-H)\alpha t$

---

[1]) См. Шарнгорстъ. Таблицы для вычисленія высотъ. Спб. 1887 и Vogler. Graphische Barometertafeln. Braunschweig. 1880.

Digitized by Google

для различныхъ температуръ. Чтобы видѣть, какъ пользуются этой формулой, примѣнимъ ее къ какому-нибудь частному случаю. Положимъ, что нужно опредѣлить разницу уровней двухъ станцій, въ которыхъ температура и давленіе слѣдующія: на нижней станціи давленіе=752 mm., температура=20°; на верхней станціи давленіе=698 mm., температура=10°. Опредѣлимъ по таблицамъ Шарнгорста разность высотъ. Для этого нужно найти H_n, H и ихъ разность. Въ таблицахъ Шарнгорста противъ столбца съ различными значеніями давленій находится столбецъ съ соотвѣтственными значеніями высотъ:

Давленія (въ миллиметрахъ)	Высоты (въ футахъ)	Давленія (въ миллиметрахъ)	Высоты (въ футахъ)
695	2348	749	382
696	2310	750	347
697	2272	751	312
698	2235	752	278
699	2197	753	243
700	2159	754	208

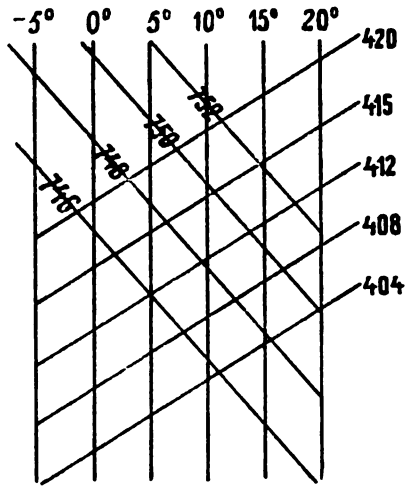
Такъ напримѣръ, въ столбцѣ давленій ищемъ наше давленіе и число противъ котораго оно написано. Противъ числа 698 написано 2235; это и будетъ первый членъ нашей формулы H_n. Противъ числа 752 написано 278; это второй членъ нашей формулы H. Предположивъ, что температура во всемъ столбѣ одинакова и равна 0°, разность высотъ приметъ такой видъ: $n=(H_n-H)(1+\alpha t)=H_n-H$, т. е. 1957 футовъ. Но температура не 0°, а t, слѣдовательно, полученную величину нужно исправить. Обращаемся ко второй таблицѣ Шарнгорста, гдѣ найдемъ поправку для температуры. Вторая таблица построена такимъ образомъ: первая горизонтальная строка обозначаетъ различныя высоты; въ первомъ вертикальномъ столбцѣ находятся различныя температуры; на пересѣченіи же горизонтальнаго столбца съ вертикальнымъ находятся вычисленныя значенія $\alpha t(H_n-H)$. Въ нашемъ случаѣ, средняя температура столба равна 15°; поэтому ищемъ строку, гдѣ t=15°:

1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
55	110	165	220	274	329	384	439	494	549

Digitized by Google

Мы должны найти по этой таблицѣ произведеніе $(H_n - H)\ at$ или 1957 at. Это можно представить въ такомъ видѣ: $1000\ at = 55$; $900\ at = 49.4$; $50\ at = 2.74$; $7\ at = 0.384$. Сложивъ всѣ эти числа, найдемъ 107.521. Это и будетъ поправка на температуру; слѣдовательно, истинная разность высотъ равна $1957 + 107.524 = 2064.524$ фут. $= 629.3$ м.

Vogler составилъ особое графическое построеніе, при помощи котораго опредѣленіе разности высотъ сводится къ нахожденію соотвѣтствующихъ линій. На каждой таблицѣ (фиг. 58) есть три системы линій: 1) вертикальныя прямыхъ линіи—обозначаютъ различныя температуры, 2) прямыя линіи съ наклономъ вправо обозначаютъ различныя давленія и, наконецъ, 3) система прямыхъ съ наклономъ въ обратную сторону даетъ вычисленные результаты для каждаго члена формулы. Возьмемъ тотъ же самый примѣръ, что и раньше. Указанныхъ чиселъ достаточно, чтобы опредѣлить разность высотъ. Ищемъ тѣ страницы, на которыхъ встрѣчаются наши давленія; найдя ихъ, обращаемъ вниманіе на вертикали съ надписью 15° и смотримъ, какое число соотвѣтствуетъ линіи, проходящей черезъ точку пересѣченія вертикали съ наклонной вправо. Такъ, для 698 mm. давленія и 15° температуры находимъ число 1048; для 752 mm. и 15° находимъ изъ нашего чертежа 416. Истинная разность уровней $n = 1048 - 416 = 632$ метра.



Фиг. 58.

Формула Babinet и ея приложенія. Напишемъ упрощенную формулу:

$$n = 18401.2\ (1 + \alpha t)\ log \frac{p}{p_n}$$

Но $$log \frac{p}{p_n} = log \frac{2p}{2p_n} = log \frac{2p + p_n - p_n}{2p_n + p - p}$$

Digitized by Google

$$log\frac{p}{p_n}=log\frac{p+p_n+(p-p_n)}{p+p_n-(p-p_n)}=log\frac{1+\frac{p-p_n}{p+p_n}}{1-\frac{p-p_n}{p+p_n}}$$

Переходя отъ обыкновенныхъ логариѳмовъ къ Неперовымъ:

$$log\frac{p}{p_n}=MLog\frac{1+\frac{p-p_n}{p+p_n}}{1-\frac{p-p_n}{p+p_n}}$$

$$\frac{1}{M}log\frac{p}{p_n}=Log\left(1+\frac{p-p_n}{p+p_n}\right)-Log\left(1-\frac{p-p_n}{p+p_n}\right)$$

Но извѣстно, что если x—правильная дробь, то

$$Log\,(1+x)=x-\frac{x^2}{2}+\frac{x^3}{3}-\ldots$$

$$Log\,(1-x)=-x-\frac{x^2}{2}-\frac{x^3}{3}-\ldots;$$

или, пренебрегая высшими степенями x:

$$Log\,(1+x)-Log\,(1-x)=2x;$$

слѣдовательно,

$$log\frac{p}{p_n}=2M\frac{p-p_n}{p+p_n}$$

и

$$n=8000\frac{2(p-p_n)}{p+p_n}(1+\alpha t).$$

Это упрощенная формула Бабине. По этой формулѣ рѣшимъ слѣдующій вопросъ: на какую высоту нужно подняться, чтобы давленіе упало на 1 mm. Число, показывающее, на сколько метровъ нужно подняться, чтобы давленіе упало на 1 mm., называется *барометрической ступенью.* Каково должно быть n, чтобы $p-p_n=1$ mm? Если $p-p_n=1$, то, безъ значительной погрѣшности, можно принять, что, въ этомъ случаѣ, $p+p_n=2p$, а слѣдовательно,

Digitized by Google

$$n=\frac{2.8000\,(1+\alpha t)}{2p}=\frac{8000\,(1+\alpha t)}{p}.$$

По этой формулѣ можно вычислить величину барометрической ступени при 0^0 и различныхъ давленіяхъ:

давленіе (въ mm.)	760	700	600	500
ступень (въ m.)	10.5	11.4	13.3	16.0

Въ нижнихъ слояхъ атмосферы, при нормальномъ давленіи и температурѣ 0^0, на каждые 10.5 m. поднятія, давленіе падаетъ на 1 mm. При повышеніи температуры, ступень нужно умножить на $(1+\alpha t)=(1+0.004t)$, т. е. на каждый градусъ температуры барометрическая ступень возрастаетъ на 0.4%. Эти числа даютъ возможность опредѣлить разность высотъ безъ всякихъ формулъ. Возьмемъ для сравненія прежній примѣръ. Средняя температура равна $(20^0+10^0):2=15^0$; среднее давленіе (752+698): 2=725 mm. По послѣдней формулѣ, считая $t=0^0$, находимъ: $n=8000:725=11.03$; но такъ какъ температура не 0^0, а 15^0, то ступень возрастаетъ на 0.4% на каждый градусъ, т. е. на $11.03\times15\times0.004=0.66$. Вотъ сколько нужно прибавить, чтобы получить истинную барометрическую ступень: $11.03+0.66=11.69$ m. Но разность давленій равна $752-698=54$ mm., слѣдовательно, разность высотъ составитъ $11.69\times54=631$ метръ.

Изъ приведенныхъ примѣровъ видно, что для производства барометрическаго нивеллированія нужны *одновременныя* наблюденія надъ давленіемъ, температурой и влажностью на верхней и нижней станціяхъ. Но довольно точные результаты получатся и въ томъ случаѣ, если вмѣсто p и p_n подставить среднія годовыя давленія верхней и нижней станціи. Можно опредѣлить разность высотъ и на основаніи среднихъ мѣсячныхъ давленій; но полученные результаты не столь точны, такъ какъ зависятъ отъ времени года. Такъ, истинная высота С.-Бернарда надъ Женевой 2070 m. На основаніи же среднихъ давленій января, полученная разность высотъ на 14 m. меньше, а изъ среднихъ давленій іюля на 9 m. выше истинной, т. е. колебанія возможны въ предѣлахъ 23 m.; извѣстно, что, въ лѣтніе мѣсяцы, температура падаетъ съ высотою быстрѣе, чѣмъ зимою, а потому введенная въ формулу величина $\frac{t+t_n}{2}$ въ первомъ случаѣ выше, а во второмъ ниже дѣйствительной средней температуры нашего столба

Digitized by Google

воздуха. Вслѣдствіе той же причины, наблюденія, произведенныя въ разные часы дня, не вполнѣ совпадаютъ другъ съ другомъ. На этомъ основаніи, Rühlmann указалъ въ каждомъ мѣсяцѣ наивыгоднѣйшіе часы наблюденій: въ январѣ—полдень; въ февралѣ—10 ч. утра и 4 ч. дня; въ мартѣ—8 ч. утра и 6 ч. вечера; въ апрѣлѣ—7 ч. утра и 7 ч. вечера; въ маѣ—7 ч. утра и 7 ч. вечера; въ іюнѣ—6 ч. утра и 9 ч. вечера; въ іюлѣ—6 ч. утра и 9 ч. вечера; въ августѣ 7 ч. утра и 8 ч. вечера; въ сентябрѣ—8 ч. утра и 6 ч. вечера; въ октябрѣ—10 ч. утра и 4 ч. дня; въ ноябрѣ—11 ч. утра и 4 ч. дня; въ декабрѣ—1 ч. дня

Ходъ гипсометрической съемки. Положимъ, что работаютъ *два* наблюдателя и требуется опредѣлить разность высотъ двухъ точекъ A и B. Оба наблюдателя производятъ сперва отсчеты своихъ барометровъ, термометровъ и часовъ въ точкѣ A; затѣмъ одинъ изъ нихъ отправляется въ точку B и, произведя тамъ одно или нѣсколько наблюденій, возвращается въ точку A и снова производитъ здѣсь отсчеты своихъ приборовъ. Пока первый наблюдатель находится въ отсутствіи, второй, остающійся въ точкѣ A, производитъ систематическіе отсчеты барометра и термометра черезъ нѣкоторые промежутки времени, напримѣръ, черезъ каждые полчаса. При благопріятныхъ обстоятельствахъ, отсчеты наблюдателя, остающагося на мѣстѣ, мѣняются незначительно и въ правильной постепенности, такъ что простымъ интерполированіемъ легко вычислить показанія, соотвѣтствующія временамъ отсчетовъ наблюдателя въ точкѣ B; получатся какъ бы одновременныя наблюденія на обѣихъ точкахъ и результаты подставляются затѣмъ въ гипсометрическую формулу. Положимъ теперь, что требуется опредѣлить относительныя высоты нѣсколькихъ точекъ. Это особенно часто случается при изысканіи путей сообщенія и при нивеллировкѣ горныхъ дорогъ. Въ этомъ случаѣ, предполагаемый путь разбиваютъ на отдѣльные участки такой длины, чтобы каждый участокъ можно было пройти или проѣхать въ теченіе одного дня; пусть эти намѣченныя точки ночлеговъ будутъ B, C, отстоящія другъ отъ друга не далѣе 30—50 верстъ. Въ начальной точкѣ A, оба наблюдателя производятъ отсчеты своихъ приборовъ; затѣмъ первый наблюдатель отправляется въ дорогу и на всѣхъ, достойныхъ опредѣленія, точкахъ a, b, c,... (напримѣръ, на перевалахъ,

Digitized by Google

въ долинахъ, у рѣкъ и пр.), останавливается и производитъ отсчеты своихъ барометра, термометра и часовъ. Пріѣхавъ въ точку *B*, первый наблюдатель останавливается здѣсь на два дня, причемъ систематически отсчитываетъ приборы черезъ извѣстные промежутки времени, напр., каждые полчаса. Второй наблюдатель, оставаясь цѣлыя сутки въ точкѣ *A*, отсчитываетъ и записываетъ также показанія своихъ приборовъ каждые полчаса и затѣмъ, на слѣдующій день, отправляется по тому же сообщенному ему маршруту въ точку *B*, производя наблюденія на тѣхъ же точкахъ, *a*, *b*, *c*... Пріѣхавъ въ *B*, второй наблюдатель свѣряетъ свои приборы съ приборами перваго наблюдателя и ѣдетъ дальше въ точку *C*, производя дорогою наблюденія на новыхъ промежуточныхъ точкахъ. Въ точкѣ *C* онъ останавливается на два дня, а первый наблюдатель такимъ же образомъ переѣзжаетъ изъ *B* въ *D* съ остановками въ *C* и на всѣхъ промежуточныхъ точкахъ для производства отсчетовъ своихъ приборовъ и т. д. Изъ такихъ наблюденій, на каждомъ участкѣ отъ *A* до *B*, отъ *B* до *C* и друг., получается все, что нужно для двукратнаго вывода разностей высотъ какъ крайнихъ, такъ и всѣхъ промежуточныхъ точекъ. Дѣйствительно, для каждаго измѣренія въ точкахъ *a*, *b*, *c*... перваго наблюдателя легко вычислить, путемъ интерполяціи, соотвѣтствующее число въ точкѣ *A* второго наблюдателя, а каждому наблюденію въ тѣхъ-же точкахъ второго наблюдателя найдется соотвѣтствующее наблюденіе въ *B* перваго наблюдателя. При такомъ порядкѣ, исключаются и личныя ошибки наблюдателей. Экспедицію очень полезно закончить въ исходной точкѣ *A*, пріѣхавъ туда тою же или другою дорогою; этимъ путемъ получается новая, независимая, повѣрка по смыканію полигона. Еще лучше работать втроемъ. Если, напримѣръ, во время переѣзда одного наблюдателя изъ *A* въ *B*, въ обѣихъ этихъ точкахъ находятся два другихъ наблюдателя, то изъ ихъ наблюденій можно легче и точнѣе судить о постоянствѣ или измѣненіи давленія, температуры и пр.

Соотвѣтствующія наблюденія могутъ быть произведены и *однимъ* наблюдателемъ, но, въ этомъ случаѣ, разстоянія между послѣдовательными точками должны быть какъ можно короче. Сперва наблюденія производятся въ одной точкѣ (*A*), затѣмъ наблюдатель переѣзжаетъ въ другую (*B*), производитъ тамъ

Digitized by Google

рядъ отсчетовъ и возвращается обратно въ *A*, гдѣ снова дѣлаетъ наблюденія. Среднее изъ отсчетовъ приборовъ въ точкѣ *A*, до выѣзда и послѣ возвращенія изъ *B*, если отсутствіе продолжалось не болѣе нѣсколькихъ часовъ, можно съ извѣстной вѣроятностью считать тѣмъ, которое было бы въ точкѣ *A* во время отсчитыванія приборовъ въ точкѣ *B*. Дѣло упрощается, если наблюдатель, на время своего отсутствія изъ точки *A*, имѣетъ возможность установить въ этой точкѣ барографъ.

Наблюденія можно расположить нѣсколько иначе, если за исходную точку принять какую либо станцію 2-го разряда. Въ этомъ случаѣ, наблюдатель сравниваетъ свои приборы съ приборами этой станціи; затѣмъ, отправившись въ экспедицію, онъ либо производитъ свои наблюденія въ часы *срочныхъ* наблюденій станціи, либо предлагаетъ наблюдателю станціи дѣлать особые отсчеты въ условные часы. Но если послѣднее невозможно, то экскурсантъ, при помощи интерполяціи, находитъ величину давленія и температуры станціи 2-го разряда для тѣхъ моментовъ, въ которые были произведены его собственные отсчеты. Наконецъ, можно воспользоваться синоптическими картами, которыя ежедневно издаются центральными учрежденіями въ Европѣ и другихъ странахъ. На такихъ картахъ, при помощи кривыхъ, представлено распредѣленіе давленія, температуры, влажности и т. д. въ извѣстные часы каждаго дня. Если кривая не проходитъ черезъ пунктъ, гдѣ находится наблюдатель, то давленіе для этого мѣста находятъ путемъ графической интерполяціи.

Барометрическая формула даетъ возможность опредѣлить давленіе (упругость) воздуха на различныхъ высотахъ. По вычисленію Hann'a, давленіе это, въ высотѣ ртутнаго столба, выражается слѣдующими числами:

высота въ килом. .	0	10	20	50	100
средн. температура .	10°	—18°.5	—38°	—60°	—80°
давленіе въ мм. . .	760	199.4	42.2	0.32	0.0012

Плотность воздуха на высотѣ 50 километровъ составляетъ 0.0004 плотности воздуха на поверхности земли. До высоты $5^1/_2$ километровъ находится уже половина массы атмосферы; выше 10 километровъ остается только менѣе одной трети массы и на высотѣ 100 километровъ упругость воздуха можетъ уравновѣсить столбъ ртути высотою въ 0.0012 милл.

Digitized by Google

Приведеніе давленія къ уровню моря. Положимъ, что средняя годовая высота давленія въ Одессѣ равна 756.8 mm. Спрашивается, какова была бы высота барометра на уровнѣ моря? Эту задачу можно рѣшить безъ всякихъ таблицъ. Прежде всего, находятъ приближенную высоту барометра на уровнѣ моря. Для этого коэффиціентъ 8000 дѣлимъ на 756.8; въ частномъ получимъ 10.57 m. Значитъ, при пониженіи на 10.57 m., барометръ повышается на 1 mm. Но высота Одессы надъ уровнемъ моря равна 50 m., слѣдовательно, барометръ повысится на 50 : 10.57 = 4.7 mm. Итакъ, чтобы знать приблизительную высоту барометра на уровнѣ моря, нужно къ числу 756.8 прибавить 4.7; получимъ 761.5 mm. Теперь мы имѣемъ уже давленіе на верхней и нижней станціяхъ. Для дальнѣйшаго хода вычисленій, нужно найти среднее ариѳметическое этихъ давленій: (761.5 + 756.8) : 2 = 759.2 mm. Зная исправленное среднее давленіе столба атмосферы, мы должны точнѣе найти величину барометрической ступени. Она равна : 8000 : 759.2 = 10.54. Но это при $t = 0^0$, а при всякой иной температурѣ, барометрическая ступень увеличивается на 0.4% на каждый градусъ. Средняя годовая температура Одессы = 10^0. Поправка барометрической ступени на температуру равна $10.54 \times 0.004 \times 10 = 0.42$. Итакъ, истинная величина барометрической ступени равна 10.54 + 0.42 = 10.96. Но высота Одессы равна 50 метр.; значитъ истинное повышеніе барометра равняется 50 : 10.96 = 4 5 mm., а давленіе на уровнѣ моря должно быть равно 756.8 + 4.5 = 761.3 mm.

Законъ Dalton'a и его слѣдствія. Законъ Dalton'a, какъ извѣстно, заключается въ томъ, что давленіе смѣси нѣсколькихъ газовъ, химически недѣйствующихъ другъ на друга, равно суммѣ давленій ея составныхъ частей, т. е. тѣхъ давленій, которыя каждый изъ газовъ обнаружилъ бы, если бы онъ одинъ наполнялъ объемъ, занимаемый смѣсью. Или короче говоря: при смѣшеніи нѣсколькихъ газовъ въ извѣстномъ объемѣ, каждый газъ стремится распространиться такъ, какъ будто ему былъ предоставленъ весь объемъ. Присутствіе другихъ газовъ только замедляетъ полное смѣшеніе, но на окончательное состояніе смѣси не имѣетъ вліянія. Давленія отдѣльныхъ газовъ, составляющихъ смѣсь, называются *парціальными давленіями*. Пусть первоначальные объемы газовъ, при одинаковой температурѣ t, равны v_1, v_2, v_3,..., а соотвѣтственныя давленія p_1, p_2, p_3,..; эти газы

Digitized by Google

смѣшаны при той же температурѣ въ объемѣ V; тогда парціальныя давленія будутъ

$$P_1=\frac{p_1v_1}{V}, \qquad P_2=\frac{p_2v_2}{V}, \ldots$$

По закону Dalton'a, давленіе смѣси

$$P=P_1+P_2+P_3+\ldots,$$

$$P=\frac{p_1v_1}{V}+\frac{p_2v_2}{V}+\ldots$$

или $$PV=\Sigma pv.$$

Законъ Dalton'a пытались примѣнить къ атмосферѣ. Съ точки зрѣнія этого закона, атмосферу нашу можно разсматривать какъ составленную изъ ряда самостоятельныхъ атмосферъ кислорода, азота, аргона и т. д., наложенныхъ одна на другую. Общее давленіе атмосферы, измѣряемое барометромъ, должно равняться суммѣ парціальныхъ давленій атмосферъ кислорода, азота и проч. Упругость каждой изъ этихъ атмосферъ у земной поверхности измѣряется вѣсомъ всей толщи соотвѣтствующей атмосферы. Но дѣло въ томъ, что законъ Dalton'a опредѣляетъ собою *окончательное* состояніе смѣси и не имѣетъ мѣста для ея переходныхъ или промежуточныхъ состояній. Законъ этотъ можетъ быть примѣненъ лишь къ атмосферамъ, вполнѣ установившимся, въ которыхъ нѣтъ прихода или расхода составляющихъ эту атмосферу газовъ. Мы видѣли, что количество основныхъ газовъ въ нашей атмосферѣ дѣйствительно отличается значительнымъ постоянствомъ. Между тѣмъ, количество водяныхъ паровъ измѣняется въ весьма широкихъ предѣлахъ; въ виду этого, законъ Dalton'a ни въ какомъ случаѣ не можетъ быть примѣненъ къ водянымъ парамъ, и водяные пары не могутъ образовать самостоятельной атмосферы; фактъ существованія максимума упругости паровъ для каждой данной температуры кладетъ границу для подобнаго распространенія. Упругость водяныхъ паровъ, измѣряемая нашими гигрометрами, не выражаетъ, поэтому, давленія всей толщи паровъ, а имѣетъ лишь мѣстное значеніе.

Но если допустить примѣнимость закона Dalton'a для остальныхъ газовъ атмосферы и справедливость закона Маріотта

Digitized by Google

при всякихъ давленіяхъ, то нетрудно вычислить парціальныя давленія отдѣльныхъ атмосферъ кислорода, азота и т. д., а также процентное содержаніе отдѣльныхъ газовъ на различныхъ высотахъ. Парціальное давленіе у земной поверхности каждаго газа равно 760×процентное его содержаніе въ единицѣ объема, а слѣдовательно:

N	O	Arg.	CO_2	H	Neon	Helium
593.02	159.52	7.144	0.228	0.076	0.0114	0.00114

Если допустить, что основные газы составляютъ самостоятельныя атмосферы, то, къ каждой изъ нихъ, можно примѣнить барометрическую формулу. Вспомнимъ эту формулу въ упрощенномъ ея видѣ (стр. 140 и 136)

$$\log b_h = \log B - \frac{Mh}{H(1+\alpha t)}, \qquad (5)$$

въ которой:

B—давленіе у земной поверхности,
b_h—давленіе на высотѣ h,
t—средняя температура столба h,
α—коэффиціентъ расширенія газа,
M—модуль,

H—высота однородной атмосферы, т. е. частное, полученное отъ дѣленія 10333 на нормальный вѣсъ кубическаго метра газа. Допустимъ, вмѣстѣ съ тѣмъ, что среднія температуры столбовъ воздуха выражаются числами:

до высоты	10	километровъ.	. .	—18°.5
» »	20	»	. . .	—38.5
» »	50	»	. .	—60.0
» »	100	»	. . .	—80.0

Вставляя въ формулу (5) соотвѣтствующія числа, найдемъ слѣдующее процентное содержаніе (по объему) различныхъ газовъ на различныхъ высотахъ въ атмосферѣ:

Высота	N	O	Arg.	Co_2	H	Hel.	Neon
10 килом.	81.23	18.16	0.56	0.015	0.035	0.000	0.002
20 »	84.34	15.19	0.31	0.006	0.147	0.002	0.004
50 »	79.17	7.03	0.03	0.000	13.645	0.126	0.000
100 »	0.10	0.00	0.00	0.000	99.448	0.452	0.000

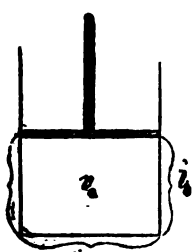
Digitized by Google

Итакъ, если законъ Маріотта справедливъ до крайнихъ предѣловъ разрѣженія и если къ атмосферѣ можно примѣнить законъ Dalton'a, то процентное содержаніе газовъ атмосферы съ высотою должно измѣняться. Въ очень высокихъ слояхъ атмосферы, преобладаніе получаютъ водородъ и гелій [1]). Примѣненіе же этой формулы къ водянымъ парамъ, даетъ результаты несогласные съ наблюденіями, какъ это мы увидимъ въ слѣдующей главѣ.

Высота однородной атмосферы. Допустимъ, что атмосфера, сохраняя нормальное давленіе, имѣетъ во всей своей толщѣ однородное строеніе и одинаковую температуру 0^0. Высоту такой фиктивной атмосферы называютъ высотою однородной атмосферы. Высота эта получится, если мы величину общаго давленія (10333) раздѣлимъ на вѣсъ кубическаго метра газа. Для воздуха, а также для самостоятельныхъ атмосферъ кислорода, азота и т. д., высота однородной атмосферы слѣдующая:

	Воздухъ	O	Arg.	CO_2
вѣсъ кубич. метра. .	1.29305	1.42927	1.78124	1.97720
высота однородной атмосферы	7991	7229	5801	5226
постоянная барометр. формулы	18401	16647	13357	12033

H	Neon	Helium
0.08987	0.89064	0.17688
114980	11600	58420
264750	26710	134520



Фиг. 59.

Теплоемкость воздуха при постоянномъ давленіи и постоянномъ объемѣ. Положимъ, что въ цилиндрѣ (фиг. 59), основаніе котораго равно квадратному метру, подъ давленіемъ p_0 и при температурѣ 0^0, находится килограммъ воздуха, занимающій объемъ v_0. Сообщимъ ему извнѣ столько тепла, чтобы температура газа увеличилась на 1^0. Это нагрѣваніе газа можно вести двумя путями:

[1]) Дѣйствительно, въ спектрѣ одного метеора Pickering нашелъ линію водорода и гелія.

Digitized by Google

a) во все время процесса, давленіе можетъ оставаться постояннымъ; въ этомъ случаѣ, часть сообщеннаго тепла пойдетъ на нагрѣваніе газа (на 1^0), а другая—на его расширеніе (поднятіе поршня на нѣкоторую высоту), т. е. на внѣшнюю механическую работу. Пусть общее количество тепла, потраченное, въ этомъ случаѣ, равно C_p. Это число C_p называется теплоемкостью газа при *постоянномъ* давленіи;

b) но нагрѣваніе газа можно вести другимъ путемъ. Во все время процесса нагрѣванія мы можемъ придерживать поршень и газъ будетъ сохранять постоянный объемъ. Положимъ, что количество тепла, необходимое въ этомъ случаѣ на нагрѣваніе газа на 1^0, равно C_v. Очевидно, что $C_p > C_v$ на величину тепла, употребленнаго на внѣшнюю работу, произведенную газомъ при нагрѣваніи его на 1^0 при постоянномъ давленіи. Пусть эта работа равна P, слѣдовательно,

$$C_p - C_v = AP,$$

гдѣ A есть тепловой коэффиціентъ единицы работы $\left(\frac{1}{425}\right)$.

Опредѣлимъ величину этой работы. Положимъ, что, при нагрѣваніи газа на 1^0, поршень подымется на высоту x; слѣд., внѣшняя работа, произведенная при этомъ

$$P = p_0 x = p_0 x.1.$$

Но $p_0 x.1 = \Delta v_0$, т. е. приращенію первоначальнаго объема газа. По закону Гей-Люссака

$$\Delta v_0 = \frac{1}{273} v_0$$

поэтому

$$P = p_0 \frac{v_0}{273}.$$

Но

$$\frac{p_0 v_0}{273} = R \text{ (см. стр. 135)},$$

слѣдовательно,

$$R = P$$

и $$C_p - C_v = AR.$$

Digitized by Google

Основное уравненіе механической теоріи тепла. Положимъ, что въ цилиндрѣ имѣемъ килограммъ воздуха, занимающій объемъ v, при давленіи p, и температурѣ t. Сообщимъ ему нѣкоторое, весьма малое, количество тепла ΔQ. Часть этого тепла пойдетъ на нагрѣваніе газа, а другая на внѣшнюю работу, т. е. на его расширеніе. Вслѣдствіе этого, объемъ газа перейдетъ въ $v+\Delta v$, давленіе въ $p+\Delta p$, а температура въ $t+\Delta t$. Дадимъ прежде газу нагрѣться на Δt, придерживая поршень, т. е. при постоянномъ объемѣ; для этого потребуется тепла $C_v\Delta t$; затѣмъ предоставимъ газу свободно расшириться; для того, чтобы поддержать его при прежней температурѣ $(t+\Delta t)$, необходимо сообщить ему количество тепла $Ap\Delta v$, эквивалентное произведенной газомъ внѣшней работѣ. Очевидно, что

$$\Delta Q=C_v\Delta t+Ap\Delta v.$$

По закону Mariott'a и Gay-Lussac'a:

$$pv=R(273+t).$$

Но, вслѣдствіе сообщенія тепла ΔQ, объемъ газа v перешелъ въ $v+\Delta v$, p перешло въ $p+\Delta p$, t—въ $t+\Delta t$; слѣдовательно, для этого новаго состоянія нашего газа, имѣемъ:

$$(p+\Delta p)(v+\Delta v)=R(273+t+\Delta t)$$

или $$pv+p\Delta v+v\Delta p+\Delta p\Delta v=R(273+t)+R\Delta t.$$

Пренебрегая произведеніемъ двухъ, весьма малыхъ, величинъ $\Delta p\Delta v$:

$$p\Delta v+v\Delta p=R\Delta t,$$

$$p\Delta v=R\Delta t-v\Delta p.$$

Вставляя въ (6)

$$\Delta Q=C_v\Delta t+AR\Delta t-Av\Delta p,$$

$$\Delta Q=(C_v+AR)\Delta t-Av\Delta p,$$

но $$C_v+AR=C_p;$$

$$\Delta Q=C_p\Delta t-Av\Delta p. \qquad (6)$$

Digitized by Google

Восходящіе и нисходящіе токи. Въ атмосферѣ часто совершаются процессы, при которыхъ происходятъ измѣненія состоянія газа безъ притока извнѣ и безъ отдачи тепла; такіе процессы называются *адіабатическими*. При адіабатическомъ процессѣ $\Delta Q=0$ и, слѣдовательно,

$$\frac{\Delta t}{\Delta p}=\frac{Av}{C_p} \qquad (7)$$

Если же, при измѣненіяхъ состоянія газа, внутри его происходятъ процессы, сопровождающіеся выдѣленіемъ тепла (напр. сгущеніе паровъ), то въ этомъ случаѣ примѣняется уравненіе (6). Уравненія (6) и (7) находятъ себѣ широкое примѣненіе въ теоріи восходящихъ и нисходящихъ токовъ. Представимъ себѣ, что въ атмосферѣ, вслѣдствіе какихъ-нибудь причинъ, въ распредѣленіи температуры по вертикальному направленію, нарушены условія, необходимыя для равновѣсія атмосферы. Въ этомъ случаѣ, массы воздуха начинаютъ восходить вверхъ или падать внизъ, т. е. образуются *восходящія* или *нисходящія* теченія. Восходящія теченія могутъ быть вызваны, напримѣръ, сильными мѣстными нагрѣваніями или сильными мѣстными процессами сгущенія паровъ, сопровождающимися выдѣленіемъ скрытаго тепла. Если масса восходитъ, то она, расширяясь, преодолѣваетъ внѣшнія давленія, т. е. производитъ нѣкоторую внѣшнюю работу. Если это восхожденіе совершается безъ отдачи и безъ полученія тепла извнѣ (адіабатически), то на эту работу затрачивается собственная энергія поднимающагося воздуха, вслѣдствіе чего восходящая масса воздуха охлаждается. Постараемся примѣнить уравненіе (6) къ случаю восходящаго теченія сухого воздуха. Положимъ, что килограммъ воздуха находится на нѣкоторой высотѣ h надъ земной поверхностью при температурѣ t и давленіи p; плотность воздуха ϱ. Вслѣдствіе образовавшагося восходящаго теченія, эта масса поднялась на высоту Δh, гдѣ давленіе перешло въ $p-\Delta p$, а температура въ $t-\Delta t$. Очевидно, что давленіе уменьшилось на вѣсъ столбика воздуха, основаніе котораго равно единицѣ, а высота—Δh; слѣдовательно,

$$\Delta p=-\varrho\,\Delta h\ ^{1}).$$

---

[1]) Знакъ — поставленъ потому, что при *увеличеніи* высоты h давленіе p *уменьшается*.

Digitized by Google

Но $\rho = \frac{1}{v}$.

Слѣдовательно,

$$\Delta p = -\frac{1}{v}\Delta h.$$

Вставляя въ (6)

$$\frac{\Delta t}{\Delta h} = -\frac{A}{C_p} \qquad (8)$$

или $\frac{\Delta t}{\Delta h} = -0^0.00997$ (приблизительно $0^0.01$).

Но $\frac{\Delta t}{\Delta h}$ есть измѣненіе температуры при увеличеніи высоты на 1 метръ. Такимъ образомъ, физическій смыслъ уравненія (8) слѣдующій: восходящій токъ сухого воздуха *охлаждается* на 0.01^0 на каждый метръ поднятія или на 1^0 на каждые 100 метровъ вертикальнаго восхожденія. Изъ той же формулы видно, что при *нисходящемъ* теченіи, массы воздуха *нагрѣваются* на 1^0 на каждые 100 метровъ вертикальнаго паденія.

До сихъ поръ мы разсматривали восходящія теченія сухого воздуха. Если мы имѣемъ дѣло съ восходящимъ токомъ влажнаго воздуха, *ненасыщеннаго* парами, то найденный законъ остается приблизительно безъ измѣненія; нужно только въ формулѣ (8) вмѣсто C_p подставить теплоемкость влажнаго воздуха, мало отличающуюся отъ теплоемкости сухого воздуха. Но легко доказать, что восходящій влажный ненасыщенный воздухъ, также охлаждаясь, постепенно приближается къ состоянію насыщенія. Въ «Приложеніи» мы приведемъ доказательство этой истины, данное впервые профессоромъ кіевскаго университета Авенаріусомъ. Но если въ восходящемъ токѣ влажность увеличивается, то наступаетъ, наконецъ, моментъ, когда пары достигаютъ насыщенія. При дальнѣйшемъ поднятіи, потеря внутренняго тепла на внѣшнюю работу, а слѣдовательно, и охлажденіе восходящей массы продолжается. Вслѣдствіе этого, часть паровъ переходитъ въ жидкое состояніе, выдѣляя скрытое тепло. Тепло это компенсируетъ частью потерю собственнаго тепла восходящей массы, а потому дальнѣйшее охлажденіе должно идти медленнѣе. Спрашивается, по какому закону должно происходить пониженіе

Digitized by Google

температуры въ восходящемъ потокѣ влажнаго насыщеннаго парами воздуха?

Возьмемъ массу воздуха, насыщеннаго парами; положимъ, что вѣсъ паровъ, заключенныхъ въ килограммѣ воздуха, будетъ q; допустимъ далѣе, что, при поднятіи на высоту Δh, нѣкоторое, весьма малое, количество паровъ Δq обратилось въ жидкое состояніе. Если скрытое тепло сгущенія обозначимъ черезъ r, то выдѣлившееся тепло выразится $r\Delta q$. Это тепло прибавится алгебрически къ тому, которое мы сообщаемъ нашему газу, а слѣд., уравненіе (6) приметъ слѣдующій видъ:

$$\Delta Q - r\Delta q = C_p \Delta t - Av\Delta p$$

или, при адіабатическомъ процессѣ,

$$r\Delta q + C_p \Delta t - Av\Delta p = 0. \qquad (9)$$

Но, приблизительно,

$$q = 0.622\frac{E}{p},$$

$$pq = 0.622E. \qquad (10)$$

При поднятіи массы воздуха на высоту Δh, p переходитъ въ $p-\Delta p$, q—въ $q-\Delta q$, E въ $E-\Delta E$, а потому уравненіе (10), для новаго состоянія, принимаетъ видъ:

$$(p-\Delta p)(q-\Delta q) = 0.622\,(E-\Delta E)$$

$$pq - p\Delta q - q\Delta p + \Delta p\Delta q = 0.622\,E - 0.622\,\Delta E, \qquad (11)$$

вычитая (11) изъ (10) и отбрасывая $\Delta p\Delta q$;

$$p\Delta q + q\Delta p = 0.622\,\Delta E$$

откуда:

$$\frac{\Delta q}{q} = \frac{0.622\Delta E}{pq} - \frac{\Delta p}{p},$$

но $pq = 0.622E$

слѣдовательно

$$\frac{\Delta q}{q} = \frac{\Delta E}{E} - \frac{\Delta p}{p}. \qquad (12)$$

Digitized by Google

Кромѣ того, мы уже раньше нашли, что

$$\Delta p = -\varrho \Delta h. \qquad (13)$$

Вставляя (12) и (13) въ уравненіе (9):

$$rq\frac{\Delta E}{E} + C_p \Delta t + rq\frac{\varrho \Delta h}{p} + A\Delta h = 0.$$

Умножая и дѣля первый членъ на Δt:

$$\left(C_p + \frac{rq}{E}\frac{\Delta E}{\Delta t}\right)\Delta t = \left(rq\frac{\varrho}{p} + A\right)\Delta h = 0$$

$$\frac{\Delta t}{\Delta h} = -\frac{rq\frac{\varrho}{p} + A}{C_p + \frac{rq}{E}\frac{\Delta E}{\Delta t}} \qquad (14)$$

Первая часть уравненія выражаетъ измѣненіе температуры при измѣненіи высоты на 1 метръ. Во второй части, величины r, q, ϱ, p, C_p, A, E суть абсолютныя числа; $\frac{\Delta E}{\Delta t}$ выражаетъ приращеніе упругости насыщенныхъ водяныхъ паровъ при увеличеніи температуры на 1°. Величина эта можетъ быть найдена изъ эмпирической формулы, выражающей законъ увеличенія упругости насыщенныхъ водяныхъ паровъ съ возрастаніемъ температуры. Въ этомъ случаѣ можно взять формулу Магнуса [1]) и по ней вычислить количество $\frac{\Delta E}{\Delta t}\cdot\frac{1}{E}$

t	$\frac{\Delta E}{\Delta t}\cdot\frac{1}{E}$	t	$\frac{\Delta E}{\Delta t}\cdot\frac{1}{E}$
—20°	0.087	5	0.070
—15	0.083	10	0.066
—10	0.087	15	0.064
— 5	0.074	20	0.062
0	0.071	25	0.059
		30	0.057

[1]) $E = 4.525 \times 10^{\frac{at}{b+t}}$, гдѣ $a = 7.4475$, $b = 234.69$.

Digitized by Google

Такимъ образомъ, изъ формулы видно, что для $\frac{\Delta t}{\Delta h}$, при увеличеніи h, получается величина отрицательная, т. е. температура, въ восходящемъ токѣ влажнаго насыщеннаго парами воздуха, также понижается. Но степень этого пониженія различна при различныхъ первоначальныхъ значеніяхъ давленія p и температуры t [1]). Формула эта разложена въ нижеслѣдующую таблицу, въ которой дано пониженіе температуры на каждые 100 метровъ вертикальнаго поднятія при различныхъ начальныхъ температурахъ и различныхъ давленіяхъ.

Начальное давленіе мм.	НАЧАЛЬНАЯ ТЕМПЕРАТУРА									Приблизит. высота въ метрахъ
	—10°	—5°	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	
760	0.76	0.69	0.63	0.60	0.54	0.49	0.45	0.41	0.38	20
700	0.74	0.68	0.62	0.59	0.53	0.48	0.44	0.40	0.37	680
600	0.71	0.65	0.58	0.55	0.49	0.44	0.40	0.37	—	1910
500	0.68	0.62	0.55	0.52	0.46	0.41	0.38	—	—	3360
400	0.63	0.57	0.50	0.47	0.42	0.38	—	—	—	5150
300	0.57	0.51	0.44	0.42	—	—	—	—	—	7430
200	0.49	0.43	0.38	—	—	—	—	—	—	10670

Если воздухъ достигъ извѣстной высоты и затѣмъ начинаетъ опускаться, то температура *повышается* приблизительно на 1° на каждые 100 метровъ вертикальнаго паденія.

Фёнъ. Въ природѣ постоянно совершаются восходящіе и нисходящіе токи воздуха. Представимъ себѣ, что, вслѣдствіе какой-нибудь причины, насыщенная масса воздуха, имѣющая температуру 10° и давленіе 760 мм., восходитъ до высоты 3000 метровъ. Изъ таблицы видно, что въ этомъ случаѣ температура падаетъ на 0°.54 на каждые 100 метровъ поднятія. Но, на вы-

[1]) Болѣе подробно о теоріи восходящихъ и нисходящихъ теченій см. работы Hertz'a и Neuhoff'a (Meteor. Z. Bd. I, 1884 и Abhandl. des K. Preuss. Met. Inst. Bd. V, № 6, 1900); Reye. Die Wirbelstürme.

Digitized by Google

сотѣ 3000 метровъ, приблизительное давленіе равно 500 мм., а, при этомъ давленіи, паденіе температуры равно 0°.46. Можно допустить, что истинное паденіе равно

$$\frac{0.54+0.46}{2}=0°.50.$$

При поднятіи на 3000 метр., температура понизится на $0.50\times30=15°$. Слѣд., массы воздуха достигнутъ высоты 3000 м. съ температурой $10°-15°=-5°$; при этомъ, большая часть паровъ прійдетъ въ состояніе насыщенія и выдѣлится въ формѣ тумана, дождя или снѣга. Количество паровъ, на высотѣ 3000 метровъ, не можетъ превышать 4.84 грамма въ каждомъ кубическомъ метрѣ воздуха. Съ этого момента наступаетъ нисходящій токъ, въ которомъ температура будетъ подыматься на 1° на каждые 100 метровъ вертикальнаго паденія. Опустившись до прежняго уровня, воздухъ будетъ имѣть температуру $-5°+30°=25°$. Содержаніе паровъ останется безъ измѣненія, т. е. 4.84 грамма въ куб. метрѣ. Относительная влажность при температурѣ 25° выразится числомъ $\frac{4.84}{22.80}.100=21\%$. Такимъ образомъ, воздухъ, насыщенный парами и имѣвшій температуру 10°, совершивъ полный циклъ поднятія до 3000 метровъ и паденія до прежняго уровня, пріобрѣтетъ температуру 25° и относительную влажность 21%. Въ природѣ подобное явленіе происходитъ въ большомъ масштабѣ и извѣстно подъ именемъ *фёна*. Представимъ себѣ, что на пути вѣтра, насыщеннаго влагой, находится, своего рода, барьеръ въ формѣ горной цѣпи или горной возвышенности. Массы воздуха поднимаются вдоль склоновъ, на которыхъ теряютъ свою влагу, постепенно охлаждаясь. Затѣмъ онѣ достигаютъ гребня и падаютъ въ долины въ формѣ теплаго и сухого вѣтра. Для развитія фёна требуется также и извѣстное распредѣленіе давленія, о чемъ будетъ сказано ниже. Явленіе фёна наблюдаютъ въ долинахъ Альпъ, Кавказа, Пиренеевъ, южной части Новой Зеландіи и пр. Приведемъ здѣсь весьма интересныя наблюденія фёна 1 февраля 1869 года:

	Bellinzona	S. Vittore	Airolo	St. Gotthard	Andermatt	Altdorf
высота въ м.	229	268	1172	2100	1448	454
температура .	3°.0	2.5	0.9	—4.5	2.5	14.5
отн. влажность	80%	85	—	—	—	28
вѣтеръ . . .	N дождь	S и SW	N и S	S_2 и S_3	SW_2	S фёнъ

Digitized by Google

Другой примѣръ фёна въ Владикавказѣ въ 1879 году:

	Температура			Относ. влажн.			Вѣтеръ		
	7	1	9	7	1	9	7	1	3
30 ноября	1°.2	8.8	3.0	94	70	93	SSW_3	N_1	SSW_3
1 декабря	2.5	8.2	6.7	94	83	77	S_2	S_2	S_4
2 »	13.2	20.2	20.2	42	30	27	S_7	S_5	S_{14}
3 »	19.4	13.6	8.7	29	62	81	S_{14}	NE_{12}	ESE_4
4 »	—0.2	—0.7	—2.2	100	98	100	NE_7	NNE_6	S_2
а также:									
4 ноября	2.0	14.0	6.2	96	69	94	SSW_2	NE_3	0
5 »	14.8	13.5	3.6	32	62	98	S_{12}	W_8	W_2
6 »	0.2	1.3	—0.6	96	87	100	WSW_2	WSW_3	NNE_4

На западныхъ берегахъ Гренландіи нерѣдко вѣтеръ, приходящій съ востока, изъ внутренности страны, приноситъ болѣе высокую температуру, обладая явно характеромъ фёна [1]).

Предыдущія формулы даютъ также критеріумъ для сужденія о томъ, находится ли извѣстный вертикальный столбъ воздуха въ устойчивомъ, неустойчивомъ или безразличномъ равновѣсіи. Аналитически этотъ вопросъ рѣшается, между прочимъ, Reye [2]) и, элементарно, Bezold'омъ [3]) при помощи графическихъ построеній.

Теплопроводность воздуха. Весьма важное значеніе въ метеорологіи имѣетъ *теплопроводность* атмосферы. Коэффиціентъ внутренней теплопроводности (k) измѣряется тѣмъ количествомъ тепла (въ малыхъ калоріяхъ), которое протекаетъ въ единицу времени (1 секунду), черезъ единицу поверхности (1 квадр. сантиметръ), по направленію къ ней перпендикулярному, когда температура по этому направленію равномѣрно уменьшается на 1°

[1]) Подробнѣе о фёнѣ см. Hann. Ueber die Ursprung des Föhn. Zeitschrift für Meteorologie. B. I, s. 257; Pernter. Dauer und Eigenschaften des Föhn in Innsbruck. Sitzungsb. der Wien. Akad. der Wiss. Bd. CIV, 1895; Defant. Innsbrucker Föhnstudien, I и II, Wien. 1906.

[2]) Reye. Die Wirbelstürme, Tornados und Wettersäule. Hannover. 1880.

[3]) Бецольдъ. Теоретическій разборъ результатовъ научныхъ полетовъ. Спб. 1902.

Digitized by Google

при переходѣ отъ одной точки къ другой, отстоящей отъ нея на единицу длины (или проще, когда паденіе температуры по этому направленію равно единицѣ). Всѣ изслѣдованія показали, что газы принадлежатъ къ весьма дурнымъ проводникамъ тепла, что видно изъ слѣдующей таблички

	k		k
серебро . .	1.00000	вода . . .	0.00130
ртуть . . .	0.02000	водородъ . .	0.00040
стекло . . .	0.00170	воздухъ . .	0.0000533.
фланель . .	0.00004		

Теплопроводность воздуха, до извѣстнаго предѣла, не зависитъ отъ его упругости и увеличивается съ повышеніемъ температуры. Во многихъ случаяхъ опредѣляютъ, такъ называемую, температурную проводимость тепла (K), т. е. число градусовъ, на которое температура 1 кубич. сантиметра тѣла повышается вслѣдствіе притока тепла k. При температурѣ 0°, плотность воздуха равна 1.293×10^{-3}, а теплоемкость при постоянномъ давленіи $c=0.238$, откуда

$$K=\frac{5.33\times10^{-5}}{1.293\times10^{-3}\times0.238}=0.173$$

Такъ какъ плотность воздуха пропорціональна давленію p и обратно пропорціональна абсолютной температурѣ T, то и

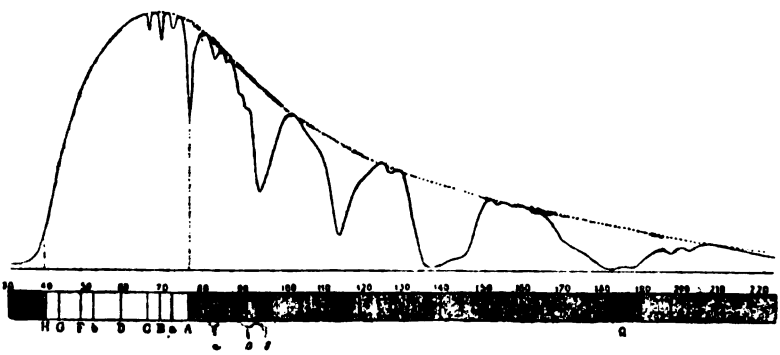
$$K=C\frac{T}{P}.$$

При $t=15°$ и $p=760$, $K=0.183$. На большихъ высотахъ K должно быть весьма велико.

Свѣто- и тепло-прозрачность воздуха. Атмосфера дѣйствуетъ двоякимъ образомъ на проходящіе черезъ нее лучи. Во-первыхъ, она *поглощаетъ* лучи опредѣленной длины волны; на мѣстѣ ихъ въ спектрѣ солнца являются темныя полосы. Съ другой стороны, она, болѣе или менѣе, ослабляетъ весь пучокъ солнечнаго свѣта, разсѣиваетъ лучи по всѣмъ возможнымъ направленіямъ. Это разсѣяніе обусловливаетъ собою дневное (свѣтовое и тепловое) освѣщеніе свода; вслѣдствіе этого, атмосфера является для насъ какъ бы оболочкой, излучающей свѣтъ и тепло. Это лучеразсѣяніе, имѣющее мѣсто во всѣхъ жидкихъ и

Digitized by Google

газообразныхъ тѣлахъ, тѣмъ больше, чѣмъ больше въ данной средѣ суспендировано мелкихъ тѣлецъ. Наблюденія показали, что большая часть полосъ поглощенія лежитъ въ красной и ультракрасной частяхъ спектра. На фиг. 60, верхняя кривая



Фиг. 60.

представляетъ напряженіе солнечной радіаціи на границѣ атмосферы. Ниже лежащая кривая даетъ напряженіе свѣта на земной поверхности. Изъ хода этой кривой видно, что наиболѣе сильное поглощеніе тепла происходитъ въ красной и, особенно, въ темной части спектра, правѣе линіи *A*. Эти «темныя полосы» обусловлены, главнымъ образомъ, поглощеніемъ лучей водяными парами и углекислотой. Особенно сильно поглощаются атмосферой лучи, исходящіе изъ тѣлъ болѣе низкой температуры, напр., излучаемые самой землей. Атмосфера, слѣдовательно, обладаетъ *избирательной* поглощательной способностью. Въ этомъ отношеніи, атмосфера наша образуетъ какъ бы оболочку, предохраняющую земную поверхность отъ сильныхъ охлажденій, и, по своимъ свойствамъ, сходна съ дѣйствіемъ стеклянныхъ оконъ, которыми покрываютъ оранжереи и парники; стекло хорошо пропускаетъ свѣтовые лучи (около 90%) и задерживаетъ (поглощаетъ) темную радіацію. Совсѣмъ другую роль играетъ ослабленіе свѣта путемъ *разсѣянія*. Изъ наблюденій видно, что коэффиціентъ проходимости [1]) различенъ для лучей различной преломляемости. Коэффиціентъ этотъ имѣетъ большую величину со

[1]) Коэффиціентъ проходимости есть правильная дробь, показывающая, какая часть пучка лучей проходитъ черезъ слой толщиною равный единицѣ.

Digitized by Google

стороны красной части спектра и уменьшается къ фіолетовымъ и ультрафіолетовымъ лучамъ; короче говоря, коэффиціентъ проходимости увеличивается съ длиною волны отъ фіолетоваго къ красному концу спектра. Langley нашелъ слѣдующія величины коэффиціента проходимости E для лучей различной длины волны λ, выраженной въ микронахъ[1]):

λ=0.36 (фіолет.)	0.61 (желт.)	1.01 (красн.)	2.3 (темн.)
E= 45%	78%	89%	93%

Abbot въ 1903 году опубликовалъ слѣдующія числа (Monthly Rew. 1903, s. 587):

λ=0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	1.2	1.6	2.0 микрон.
E=0.48	0.70	0.73	0.81	0.86	0.90	0.92	0.92

Лордъ Rayleigh теоретически изслѣдовалъ измѣненіе коэффиціента проходимости при прохожденіи лучей различной длины волнъ черезъ мутную среду. Онъ доказалъ, что если частицы мутной среды мельче, чѣмъ длина волнъ радіаціи, то разсѣяніе обратно пропорціонально четвертой степени длины волны. Напримѣръ, длина волны желтаго цвѣта (около фраунгоферовой линіи D) равна 0.6, а фіолетовой части спектра (около линіи H)—0.4; слѣдовательно, фіолетовые лучи разсѣиваются сильнѣе желтыхъ въ отношеніи $(0.6)^4 : (0.4)^4$, т. е. въ 5 разъ. Вслѣдствіе разсѣянія, напряженіе свѣта уменьшается отъ фіолетоваго къ красному концу спектра. При закатѣ, въ солнечномъ свѣтѣ заключается много красныхъ и только нѣкоторое количество желтыхъ лучей. Вообще, яркость солнца убываетъ съ высотою его надъ горизонтомъ:

высота	яркость
90°	1
11°	0.5
7°	0.25
на горизонтѣ .	0.002

Разсѣяніе уменьшается также быстро съ высотою. По Abney'ю, уже на высотѣ 2400 метровъ, средній коэффиціентъ лучеразсѣя-

[1]) Микронъ равенъ одной тысячной части миллиметра.

Digitized by Google

нія въ 6 разъ меньше, чѣмъ на земной поверхности; дальше быстро убываетъ, такъ что на высотѣ 6000 метровъ онъ уже весьма незначителенъ. На горахъ, и вообще въ болѣе высокихъ слояхъ атмосферы, солнечный свѣтъ гораздо богаче фіолетовыми и ультрафіолетовыми (химическими) лучами, чѣмъ объясняется свойство его производить загаръ и даже обжогъ кожи [1]). На границѣ атмосферы солнце казалось бы окрашеннымъ въ синій или фіолетовый цвѣтъ. Лордъ Rayleigh, какъ увидимъ въ метеорологической оптикѣ, объясняетъ голубой цвѣтъ неба и различныя его видоизмѣненія, а также цвѣтовыя явленія при восходѣ и закатѣ солнца, присутствіемъ въ воздухѣ мельчайшихъ частичекъ пыли. Въ недавнее время, Rayleigh пришелъ къ заключенію, что присутствіе посторонніхъ тѣлецъ не составляетъ необходимаго условія. Явленіе голубой окраски неба можетъ быть объяснено разсѣяніемъ, вызваннымъ молекулами воздуха.

Итакъ, ослабленіе свѣтовой части солнечной радіаціи происходитъ вслѣдствіе *разсѣянія;* потеря же темной теплоты зависитъ отъ *поглощенія.* Главной поглощающей средой являются водяные пары и углекислота. Увеличеніе количества углекислоты и водяныхъ паровъ въ атмосферѣ имѣетъ мало вліянія на свѣтовую силу солнечныхъ лучей; оно увеличиваетъ поглощеніе *тепловой* части солнечной энергіи.

Литературныя указанія.

A) *Общія свойства газовъ.*

1) * Хвольсонъ. Курсъ физики. Спб. I. 1898.

2) * Riecke. Lehrbuch der Physik. Leipzig. 1905.

3) * Winkelmann. Handbuch der Physik. Leipzig. 1906. Allgemeine Physik.

4) * Менделѣевъ. Объ упругости газовъ. Спб. 1875.

B) *Барометрическое нивеллированіе.*

5) Rühlmann. Die barometrischen Höhenmessungen. Leipzig. 1870.

6) Bauernfeind. Beobachtungen und Untersuchungen über die Genauigkeit barometrischer Höhenmessungen. München. 1872.

7) * Менделѣевъ. О барометрическомъ нивеллированіи. Спб. 1886.

[1]) Elster und Geitel. Meteorologische Zeitschrift. 1893, S. 48.

Digitized by Google

8) *Hartl. Anleitung zum trigonometrischen und barometrischen Höhenmessungen. Wien. 1884.

9) Schreiber. Handbuch der barometrischen Höhenmessungen.

10) Liznar. Die barometrische Höhenmessung. Leipzig. 1904.

11) *Schoen. Anleitung für die Manipulation bei den barometrischen Höhenmessungen. Leipzig. 1907.

C) *Основы механической теоріи тепла.*

12) *Зиловъ. Элементарный курсъ механической теоріи тепла. Москва. 1882.

13) *Хвольсонъ. Курсъ физики. Т. III, Спб. 1899, главы VII—IX.

14) Winkelmann. Handbuch der Physik. Leipzig. 1906. Dritter Band. Zweite Hälfte. Mechanische Wärmetheorie. S. 252—761.

15) Обширный курсъ Rühlmann'a «Handbuch der mechanischen wärmetheorie», Braunschweig. 1906.

D) *Теорія восходящихъ и нисходящихъ токовъ.*

16) Hann. Lehrbuch der Meteorologie. Wien. 1905, VI. Einige der wichtigsten mathematisch-physikalischen Theorien der Meteorologie.

17) Reye. Die Wirbelstürme, Tornados und Wettersäulen. Hannover. 1880. Anhang.

18) *Hertz. Graphische Methode zur Bestimmung der adiabatischen Zustandsänderungen feuchter Luft. Meteorol. Zeitschrift. 1884, s. 421.

19) Sprung. Lehrbuch der Meteorologie. Hamburg. 1885.

20) *Bezold. Gesammelte Abhandlungen. Braunschweig. 1906. Zur Thermodynamik der Atmosphäre. V—IX, S. 91—216. Theoretische Betrachtungen über die Ergebnisse der wissenschafftlichen Luftfahrten, S. 221 u Ueber die Temperaturänderungen auf- und absteigender Luftstrome, s. 274.

21) Neuhoff. Adiabatische Zustandsänderungen feuchter Luft. Berlin. 1900.

22) Авенаріусъ. Измѣненія влажности въ восходящемъ атмосферномъ теченіи. Кіевскія Университетскія Извѣстія. Кіевъ. 1868.

Digitized by Google

23) Bigelow. Studies on the Thermodynamics of the Atmosphäre. Monthly Weather Rew. Washington, 23, 1906.

24) Рядъ статей въ журналахъ:

a) Meteorologische Zeitschrift.

b) Monthly Weather Review.

c) Quarterls Journal of the Royal Meteorological Society.

III.

Вода въ атмосферѣ.

Водяные пары въ атмосферѣ. Перегонка, гигроскопичность, расплываніе, высушиваніе. Элементы, характеризующіе гигрометрическое состояніе воздуха. Законы испаренія. Тепловой приходо-расходъ человѣческаго организма. Эвапорометры и результаты наблюденій. Гигрометры. Измѣненія гигрометрическаго состоянія во времени и въ пространствѣ. Распространеніе паровой атмосферы по вертикальному направленію. Нѣкоторыя физическія постоянныя воздуха и воды. Литературныя указанія.

Водяные пары въ атмосферѣ. Водяные пары составляютъ наиболѣе подвижную и неустойчивую составную часть земной атмосферы. Они находятся непрерывно то въ стадіи образованія (испаренія), то въ стадіи осѣданія (сгущенія). Абсолютное ихъ количество, поэтому, постоянно измѣняется въ весьма широкихъ предѣлахъ. Упругость ихъ измѣряется высотою ртутнаго столба, который они могутъ уравновѣсить. Если, напримѣръ, въ верхнюю камеру барометра внесемъ нѣкоторое количество паровъ, то барометрическій столбъ понизится на величину упругости введенныхъ паровъ. Если, поддерживая температуру камеры постоянной, станемъ вводить новое и новое количество паровъ, то столбъ ртути будетъ понижаться, слѣдовательно, упругость будетъ увеличиваться. Наконецъ, при данной температурѣ, можно ввести столько паровъ, что всякій излишекъ ихъ обращается въ жидкое состояніе. Говорятъ, что, въ этомъ случаѣ, пары насытили пространство, а упругость ихъ достигла максимума. Упругость паровъ, насыщающихъ пространство, увеличивается съ повышеніемъ температуры. Въ слѣдующей таблицѣ приведены эти

Digitized by Google

упругости при различныхъ температурахъ въ миллиметрахъ ртутнаго столба (столбецъ E):

t	E	Q
— 30°	0.38 мм.	0.457 грамм.
— 25	0.61 »	0.707 »
— 20	0.94 »	1.078 »
— 15	1.44 »	1.611 »
— 10	2.15 »	2.363 »
— 5	3.16 »	3.407 »
0	4.57 »	4.835 »
0	4.57 »	4.835 »
5	6.51 »	6.761 »
10	9.14 »	9.329 »
15	12.67 »	12.712 »
20	17.36 »	17.117 »
25	23.52 »	22.795 »
30	31.51 »	30.036 »
35	41.78 »	39.183[1]) »

Въ таблицѣ этой даны упругости водяныхъ паровъ при температурахъ ниже 0° надъ льдомъ; упругость же надъ жидкой водой нѣсколько выше (по Juhlin'y), а именно:

темп . .	— 2	— 4	— 6	— 8	— 10	— 12	— 14	— 16
ледян. паръ	3.92	3.33	2.82	2.38	2.00	1.67	1.40	1.17
жидк. паръ	3.99	3.45	2.97	2.56	2.20	1.88	1.61	1.38

Перегонка, гигроскопичность, расплываніе, высушиваніе. Возобновимъ въ памяти нашей нѣкоторыя физическія представленія, о сущности процесса испаренія, придерживаясь изложенія профессора Зилова[2]). Если въ замкнутое пространство, изъ ко-

[1]) См. Tables météorologiques internationales. Paris. 1890. Справочныя числа, опредѣляющія всѣ возможныя физическія и химическія постоянныя, можно найти въ книгѣ: Landolt-Börnstein. Physikalisch-chemische Tabellen. Dritte Auflage. Berlin. 1905.

[2]) Зиловъ. Испареніе и осѣданіе. Физическое Обозрѣніе, 1905, № 6, стр. 237.

Digitized by Google

тораго вытянутъ воздухъ, внесемъ каплю воды, то она быстро испарится; пусть упругость образовавшихся паровъ будетъ равна *e* мм. Если точно такую же каплю внесемъ въ то же пространство, предварительно наполненное воздухомъ, то она также испарится и общая упругость увеличится на величину *e*, но для этого потребуется нѣкоторое время. Представимъ себѣ далѣе пространство, занятое отчасти жидкостью, отчасти ея паромъ. По представленію Клаузіуса, жидкость непрерывно испаряется, а паръ непрерывно осѣдаетъ. Если одновременно масса испаряющейся жидкости и масса осѣдающаго пара одинаковы, то жидкость и паръ находятся въ равновѣсіи; паръ называется *насыщеннымъ*. Если упругость пара меньше, то паръ *ненасыщенъ* (перегрѣтъ) и перевѣшиваетъ первый процессъ; если упругость пара больше, то паръ *пересыщенъ* и перевѣшиваетъ второй процессъ. Испареніе состоитъ въ томъ, что жидкость выбрасываетъ изъ себя частицы; это явленіе мы припишемъ силѣ, дѣйствующей внутри жидкости, и назовемъ ее *упругостью испаренія* данной жидкости. Если бы упругость испаренія дѣйствовала одна, то жидкость, какова бы ни была ея масса, вся испарилась бы; но испареніе жидкости происходитъ тѣмъ медленнѣе, чѣмъ больше упругость находящагося надъ нею пара; испареніе совершенно прекращается, когда надъ жидкостью находится насыщенный паръ. Послѣ этого ясно, что упругость находящагося надъ жидкостью пара противодѣйствуетъ упругости испаренія, слѣд., это двѣ прямо противоположныя силы; упругость насыщеннаго пара уравновѣшиваетъ упругость испаренія жидкости; слѣдовательно, *упругость насыщенныхъ паровъ измѣряетъ упругость испаренія жидкости при той же температурѣ*.

Упругость испаренія жидкости прежде всего зависитъ отъ ея природы; при однихъ и тѣхъ же условіяхъ, жидкость, обладающая большею упругостью испаренія, испаряется быстрѣе, чѣмъ жидкость, обладающая меньшею упругостью испаренія. Упругость испаренія жидкости возрастаетъ съ температурою и уменьшается съ растворeніемъ въ ней какого-нибудь твердаго тѣла; упругость испаренія раствора тѣмъ меньше, чѣмъ больше его концентрація.

Примѣнимъ такимъ образомъ опредѣленное понятіе упругости испаренія къ объясненію нѣкоторыхъ явленій.

Возьмемъ изогнутую стеклянную трубку съ двумя балло-

Digitized by Google

нами *a* и *b* на концахъ; въ трубкѣ помѣщается нѣкоторое количество прокипяченой воды и весь воздухъ удаленъ; пусть въ балонѣ *a* вода поддерживается при 100°, а въ *b* - при 0°; тогда въ первомъ баллонѣ водяные пары имѣютъ упругость 76 cm., а въ *b*—лишь 0.4 cm.; въ баллонѣ *a* на каждый куб. сантиметръ приходится 0.546 mgr. водяного пара, а въ баллонѣ *b*—лишь 0.004 mgr. Паръ изъ обоихъ баллоновъ распространяется по всему прибору, и когда нѣкоторый объемъ пара изъ *a* перемѣстится въ *b*, то такой же объемъ пара изъ *b* перемѣстится въ *a*. Вслѣдствіе этого, въ *a* находятся пары ненасыщенные, а въ *b*—пересыщенные; въ баллонѣ *a* вода испаряется, а въ баллонѣ *b* пары осѣдаютъ (изъ каждаго куб. сантиметра притекающаго сюда пара осѣдаетъ 0.546 mgr.) Такой процессъ продолжается, понятно, до тѣхъ поръ, пока вся вода не перегонится изъ баллона *a* въ баллонъ *b*, и пока весь нашъ приборъ не наполнится паромъ упругости 0.4 cm. На этомъ основана *перегонка* жидкости.

Представимъ себѣ, далѣе, что въ баллонѣ *a* находится чистая вода, а въ *b* какой-нибудь водный растворъ; если приборъ всюду нагрѣтъ до одной температуры, то вода будетъ имѣть бо́льшую упругость испаренія, чѣмъ растворъ; одновременно испаряется воды въ баллонѣ *a* больше, чѣмъ въ баллонѣ *b*; осаждаться же паръ будетъ одинаково, какъ въ томъ, такъ и въ другомъ баллонѣ; вслѣдствіе этого, въ баллонѣ *a* вода будетъ все уменьшаться, а въ баллонѣ *b* растворъ будетъ увеличиваться. Это объясняетъ намъ *гигроскопичность* нѣкоторыхъ веществъ. Если вещество, будучи въ сыромъ воздухѣ, покрывается слоемъ воды, въ которой растворяется, и упругость испаренія этого раствора меньше упругости атмосферныхъ паровъ, то послѣдніе здѣсь осѣдаютъ въ растворѣ; гигроскопическое вещество, какъ говоритъ, *поглощаетъ* водяные пары изъ влажнаго воздуха. Гигроскопичностью веществъ пользуются для *осушенія* газовъ. Для этого газы пропускаются черезъ *сушило*—трубку, наполненную гигроскопическимъ веществомъ; для осушенія воздуха въ закрытомъ пространствѣ, туда ставятъ чашку съ гигроскопическимъ тѣломъ. Этимъ же процессомъ объясняется *расплываніе* на воздухѣ нѣкоторыхъ веществъ. Расплываются тѣ вещества, которыя сильно растворяются въ водѣ, и насыщенные растворы которыхъ имѣютъ упругость испаренія меньшую упругости атмосферныхъ паровъ.

Digitized by Google

Когда въ такое вещество попадаетъ малѣйшее количество воды, въ ней образуется насыщенный растворъ, въ который осѣдаютъ атмосферные пары; растворъ разжижается, вслѣдствіе чего въ немъ растворяется еще новая часть тѣла и т. д. Если же вещество слабо растворяется въ водѣ и, смочившись въ сыромъ воздухѣ, даетъ растворъ, упругость испаренія котораго больше, чѣмъ упругость данныхъ атмосферныхъ паровъ, то такое вещество не расплывается, а наоборотъ высыхаетъ на воздухѣ. Такъ, углекаліевая соль расплывается, а сѣрнокаліевая соль высыхаетъ на воздухѣ.

Извѣстно, что при поверхности растворовъ, а равнымъ образомъ при поверхности воды, кристаллизующейся въ ледъ, упругость насыщенія не достигаетъ той величины, какъ при плоской поверхности жидкой воды. При 30° мороза переохлажденная вода даетъ упругость насыщенныхъ паровъ вдвое почти, бо́льшую, чѣмъ поверхность ледяныхъ кристалловъ. Послѣднее обстоятельство можетъ быть иллюстрируемо извѣстнымъ фактомъ, относительно высушиванія мокрыхъ тканей и мѣховъ на крайнемъ сѣверѣ [1]). Промокшая гигроскопическая ткань кладется на поверхность снѣга, причемъ слой воздуха, раздѣляющій ткань отъ снѣга, насыщается паромъ. Но это насыщеніе получается равнымъ образомъ при поверхности ткани, содержащей въ порахъ жидкую воду и при поверхности кристалловъ снѣга. Въ первомъ случаѣ, эта упругость насыщенія больше, чѣмъ во второмъ, а потому въ тонкомъ слоѣ воздуха происходитъ явленіе, извѣстное подъ названіемъ диффузіи пара. Паръ диффундируетъ отъ бо́льшихъ упругостей къ меньшимъ, слѣдовательно, отъ тканей къ снѣгу и, увеличивая содержаніе влаги при снѣгѣ, конденсируется на поверхности послѣдняго. Происходящая отъ конденсаціи убыль пара сопровождается новымъ испареніемъ при поверхности тканей, и такимъ образомъ происходитъ непрерывная дистилляція воды отъ поръ гигроскопическаго тѣла къ поверхности снѣга, ведущая къ высушиванію ткани и нарастанію снѣга.

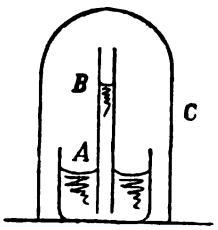
На основаніи теоріи поверхностнаго натяженія, лордъ Kelvin

---

[1]) Срезневскій. Объ испареніи съ поверхности тѣла и растеній. Труды второго всероссійскаго съѣзда по климатологіи, гидрологіи и бальнеологіи, т. I, Спб. 1905, стр. 291.

Digitized by Google

доказалъ, что, при остальныхъ равныхъ условіяхъ, упругость испаренія жидкости, ограниченной выпуклою поверхностью, больше, а жидкости, ограниченной вогнутою поверхностью, меньше, чѣмъ упругость испаренія жидкости, ограниченной плоскостью. Представимъ себѣ, что въ сосудъ A (фиг. 61) съ жидкостью опущена капиллярная трубка B, въ которой жидкость поднимается на высоту h; все помѣщено подъ колоколъ C, изъ котораго удаленъ воздухъ и который наполняется насыщеннымъ паромъ; какъ въ сосудѣ A, такъ и въ трубкѣ B жидкость и паръ находятся въ равновѣсіи. Назовемъ ∂ и δ плотности жидкости и ея насыщенныхъ паровъ, R радіусъ кривизны мениска въ трубкѣ; тогда давленіе на точку свободной поверхности въ сосудѣ опредѣляется вѣсомъ столба пара $h\delta g$, а давленіе на точку, лежащую на томъ же уровнѣ внутри трубки, опредѣляется вѣсомъ такого же столба жидкости $h\partial g$, уменьшеннымъ на молекулярное давленіе, $2T/R$, гдѣ T — поверхностное натяженіе жидкости; и такъ $h\delta g = h\partial g - 2T/R$, откуда



Фиг. 61.

$$hg = \frac{2T}{R(\partial - \delta)}. \qquad (1)$$

Съ другой стороны понятно, что давленіе пара должно уменьшаться съ высотою; если на уровняхъ A и B давленія пара имѣютъ значенія P и P', то

$$P = P' + hg\delta;$$

подставляя сюда значеніе hg изъ (1) и опредѣляя P', находимъ

$$P' = P - \frac{2T\delta}{R(\partial - \delta)}. \qquad (2)$$

Если бы въ капиллярной трубкѣ жидкость ограничивалась выпуклымъ меніскомъ, и давленіе пара на него обозначили P'', то нашли бы

$$P'' = P + \frac{2T\delta}{R(\partial - \delta)}. \qquad (3)$$

Digitized by Google

Такъ какъ P' и P'' представляютъ намъ упругости насыщенныхъ паровъ надъ вогнутымъ и выпуклымъ менисками, то они же представляютъ и упругость испаренія жидкости, ограниченной вогнутымъ и выпуклымъ менисками.

Такъ какъ для воды $T=74$ dn/cm, то для капли въ 1 μ радіуса $2T\delta/R\delta=1{,}000$ atm., а для капли въ 1 $\mu\mu$ радіуса эта дробь$=1$ atm. [1]).

Элементы, характеризующіе гигрометрическое состояніе воздуха. Состояніе воздуха, по отношенію къ содержащимся въ немъ парамъ, называется гигрометрическимъ состояніемъ. Гигрометрическое состояніе могутъ характеризовать различные элементы:

1) Упругость e тѣхъ паровъ, которые въ данный моментъ дѣйствительно находятся въ воздухѣ. Эта упругость, измѣренная въ миллиметрахъ ртутнаго столба, называется *абсолютной влажностью.*

2) Вѣсъ паровъ q (въ граммахъ), находящихся въ каждомъ кубическомъ метрѣ воздуха. Извѣстно, что вѣсъ кубич. метра сухого воздуха, при температурѣ 0° и нормальномъ давленіи, равенъ 1293 граммамъ. Вѣсъ того-же объема воздуха при температурѣ t и давленіи h выразится:

$$\frac{1293h}{760(1+\alpha t)}.$$

Допустимъ, что упругость паровъ, находящихся въ воздухѣ, равна e; тогда вѣсъ куб. м. воздуха, упругость котораго равна e, будетъ

$$\frac{1293e}{760(1+\alpha t)}.$$

Но плотность паровъ по отношенію къ плотности воздуха равна 0.622; слѣдовательно, вѣсъ паровъ, находящихся въ 1 кб. м. воздуха,

$$q=0.622\frac{1293e}{760(1+\alpha t)} \text{ или } q=\frac{1.06}{1+\alpha t}e,$$

[1]) Зиловъ. Испареніе и осѣданіе. Физическое Обозрѣніе, 1905, № 6.

Digitized by Google

т. е. вѣсъ паровъ, выраженный въ грамм. и заключающійся въ 1 кб. м. воздуха, равенъ упругости этихъ паровъ, умноженной на коэффиціентъ $\frac{1.06}{1+\alpha t}$. Этотъ коэффиціентъ мало отличается отъ единицы; откуда видно, что число, выражающее упругость пара въ мм., близко къ числу, выражающему вѣсъ пара въ грам. Но можно найти температуру, при которой оба числа совпадаютъ, т. е. $q=e$. Для этого нужно, чтобы коэффиціентъ при e былъ равенъ единицѣ, т. е.

$$\frac{1.06}{1+\alpha t}=1, \text{ откуда } t=16.4^{\circ}.$$

При низшей температурѣ, числа, выражающія упругость, меньше, при высшей—больше чиселъ, выражающихъ вѣсъ.

Въ таблицѣ, напечатанной на страницѣ 169, въ третьемъ столбцѣ, подъ буквою Q, приведены числа, показывающія вѣсъ *насыщенныхъ* паровъ, заключенныхъ въ кубическомъ метрѣ воздуха. Изъ приведенной выше формулы можно видѣть, что влажный воздухъ, при одинаковомъ давленіи и одной и той же температурѣ, легче сухого. Въ слѣдующей таблицѣ показанъ вѣсъ кубическаго метра сухого и влажнаго воздуха въ граммахъ, при различныхъ температурахъ:

температура	—20°	—10°	0°	10°	20°	30°
вѣсъ сухого воздуха.	1395	1342	1293	1247	1205	1165
» влажнаго »	1395	1341	1290	1241	1194	1147
разность	0	1	3	6	11	18

Изъ этой таблицы можно видѣть, что, при 30°, разность въ вѣсѣ достигаетъ 18 граммовъ. При 20°, насыщеніе воздуха парами имѣетъ такое же вліяніе на плотность, какъ повышеніе температуры на 3°.

3) Удѣльная влажность, т. е. вѣсъ паровъ (p), заключенныхъ въ килограммѣ воздуха. Возьмемъ кубическій метръ воздуха, упругость котораго равна b. Пусть упругость паровъ въ немъ заключающихся равна e; упругость сухого воздуха будетъ $b-e$. Вѣсъ сухого воздуха выразится

$$\frac{1.293\,(b-e)}{(1+\alpha t)\,760} \text{ килогр.},$$

Digitized by Google

вѣсъ паровъ

$$\frac{1.293e}{(1+\alpha t)760}0.622 \text{ килогр.},$$

общій вѣсъ

$$\frac{1.293(b-0378e)}{(1+\alpha t)760}\text{килогр.},$$

гдѣ 0.622—средняя плотность паровъ. Величина, обратная написанной, дастъ объемъ килограмма воздуха. Слѣдовательно, вѣсъ паровъ, заключенныхъ въ этомъ объемѣ (т. е. въ килограммѣ)

$$p=0.622\frac{e}{b-0.378e}\text{килогр.}$$

Въ слѣдующей таблицѣ данъ вѣсъ насыщенныхъ паровъ (въ граммахъ), заключенныхъ въ одномъ килограммѣ воздуха при различныхъ температурахъ и различныхъ давленіяхъ:

t	760 мм.	600 мм.
—25°	0.41	0.52
—20	0.66	0.84
—15	1.05	1.33
—10	1.64	2.08
— 5	2.51	3.19
0	3.77	4.78
5	5.41	6.86
10	7.53	9.53
15	10.46	13.25
20	14.35	18.64
25	19.51	24.78
30	26.23	—

4) Влажный дефицитъ D, т. е. разность между упругостью паровъ, необходимыхъ для насыщенія пространства (E) и упругостью паровъ (e), которые дѣйствительно находятся въ воздухѣ

$$D=E-e.$$

Если рѣчь идетъ объ испареніи съ поверхности какого-нибудь

Digitized by Google

тѣла, то влажнымъ дефицитомъ называютъ разность между количествомъ паровъ, необходимымъ для насыщенія пространства при температурѣ испаряющейся поверхности и тѣмъ количествомъ паровъ, которое дѣйствительно находится въ воздухѣ.

5) Точка росы, т. е. температура T, при которой пары, находящіеся въ атмосферѣ, достигаютъ насыщенія.

6) Гигрометрическое богатство (f), т. е. отношеніе вѣса (q) паровъ, заключенныхъ въ одномъ кубическомъ метрѣ воздуха, къ вѣсу сухого воздуха (k) въ томъ же объемѣ. Но

$$q=\frac{0.622\times 1.293}{1+\alpha t}\,\frac{e}{760},$$

$$k=\frac{1.293}{1+\alpha t}\,\frac{b-e}{760},$$

слѣдовательно, $$f=\frac{q}{k}=0.622\frac{e}{b-e}.$$

7) Относительная влажность e_1, т. е. отношеніе упругости паровъ (e), дѣйствительно находящихся въ воздухѣ, къ упругости паровъ (E), необходимыхъ для насыщенія того же пространства при той же температурѣ

$$e_1=\frac{e}{E} \text{ или въ процентахъ } e_1=\frac{e}{E}\cdot 100.$$

Отношеніе *упругостей* можно замѣнить отношеніемъ *вѣсовыхъ* количествъ паровъ, дѣйствительно находящихся въ воздухѣ и паровъ, необходимыхъ для насыщенія, а потому

$$e_1=\frac{q}{Q}\cdot 100.$$

Если, напримѣръ, говорятъ, что относительная влажность равна 20%, то это значитъ, что количество паровъ, находящихся въ воздухѣ, составляетъ 20% того количества паровъ, которое необходимо для насыщенія пространства при той же температурѣ.

Указанные элементы, какъ видно, связаны между собою функціонально, такъ что если извѣстенъ *одинъ* изъ нихъ и температура изучаемой среды, то остальные можно вычислить.

Digitized by Google

Испареніе. Источникомъ, доставляющимъ постоянный запасъ паровъ въ атмосферѣ, является *испареніе*, происходящее съ поверхности водъ, болотъ, почвы, растительнаго покрова и т. п. *Скорость испаренія*, т. е. вѣсовое количество воды, испаряющейся съ единицы поверхности въ единицу времени, зависитъ отъ многихъ факторовъ: отъ температуры испаряющейся поверхности, отъ гигрометрическаго состоянія окружающей среды, отъ давленія воздуха и, наконецъ, отъ скорости вѣтра надъ испаряющейся поверхностью; чѣмъ скорость вѣтра больше, тѣмъ испареніе идетъ быстрѣе, такъ какъ вѣтеръ уноситъ въ сторону поднимающіеся пары и, такимъ образомъ, отдаляетъ моментъ насыщенія парами окружающей среды. Не смотря на то, что испареніе играетъ огромную роль въ физической и органической жизни планеты, истинные законы его не вполнѣ изслѣдованы и количество испаренія на земной поверхности не опредѣлено съ такой точностью, какъ опредѣлены другіе метеорологическіе факторы. Дѣло въ томъ, что лабораторные опыты производятся при нѣкоторой искусственной обстановкѣ, далеко не соотвѣтствующей естественнымъ условіямъ. Съ другой стороны, наблюдательный матеріалъ также не вполнѣ надеженъ, а главное, не вполнѣ сравнимъ между собой, такъ какъ наблюденія производятся въ условіяхъ, отличныхъ отъ тѣхъ, которыя имѣютъ мѣсто въ природѣ. Въ природѣ испареніе происходитъ съ поверхности воды, съ поверхности почвы, съ поверхности растительнаго покрова. Во всѣхъ этихъ случаяхъ, испаряющаяся поверхность подвержена непосредственному дѣйствію инсоляціи, дождя, вѣтра; съ другой стороны, въ испаряющейся поверхности не нарушена связь со слоями почвы или воды, лежащими ниже и съ боковъ; благодаря этой неразрывности, въ испаряющейся массѣ постоянно поддерживаются токи тепла и влаги, компенсирующіе измѣненія температуры и убыль влаги. Между тѣмъ, на метеорологическихъ станціяхъ, мы можемъ наблюдать испареніе въ небольшихъ сосудахъ при искусственной установкѣ приборовъ, защищенныхъ отъ дождя и, въ значительной степени, отъ вѣтра. Особенно трудно опредѣлить испареніе съ поверхности почвы и растеній. Еще Dalton далъ слѣдующій законъ. Если

f—скорость испаренія,

$E-e$—влажный дефицитъ,

Digitized by Google

H—давленіе воздуха,

a—нѣкоторое постоянное, то

$$f=a\frac{E-e}{H}.$$

Новѣйшія изслѣдованія Weilemann'a и Stelling'a показали, что скорость испаренія выражается болѣе сложной формулой

$$f=\frac{A}{H}(E-e)(a+bv),$$

гдѣ A, a и b—постоянныя,

а v—скорость вѣтра.

По Trabert'y:

$$f=C(1+at)(E-e)\sqrt{v},$$

гдѣ C—постоянная, опредѣленная при нѣкоторомъ среднемъ давленіи B. При другомъ давленіи H, вмѣсто C слѣдуетъ подставить $C\frac{H}{B}$. Кромѣ того, наблюденія обнаружили, что f зависитъ отъ діаметра и матеріала сосуда, отъ глубины испаряющагося слоя, отъ присутствія въ водѣ растворенныхъ солей и пр. Можетъ случиться, что температура испаряющейся поверхности на столько низка, что упругость насыщенныхъ паровъ, соотвѣтствующая этой температурѣ, будетъ ниже, чѣмъ упругость паровъ, дѣйствительно находящихся въ воздухѣ; въ этомъ случаѣ, вмѣсто испаренія, происходитъ осѣданіе паровъ на данной поверхности. Еще сложнѣе вопросъ объ испареніи съ поверхности растеній и, особенно, съ поверхности человѣческаго тѣла.

Тепловой приходо-расходъ человѣческаго организма. Гигрометрическое состояніе воздуха имѣетъ огромное значеніе въ жизни нашего организма. Извѣстно, что человѣческій организмъ находится въ стаціонарномъ, приблизительно, тепловомъ состояніи. При нормальныхъ условіяхъ, температура нашего тѣла колеблется отъ 36°.5 до 37°.5 Цельзія. Источникомъ животной теплоты является сгораніе пищевыхъ веществъ. Гельмгольцъ, на основаніи ряда опытовъ, нашелъ, что отъ сгоранія углерода, въ тѣлѣ взрослаго человѣка, вѣсомъ въ 82 килограмма, образуется 270000 калорій въ сутки. Для того, чтобы организмъ

Digitized by Google

находился, по отношенію къ теплу, въ стаціонарномъ состояніи (что опредѣляется нормальнымъ ходомъ функцій и хорошимъ самочувствіемъ), необходимо, чтобы приходъ тепла равнялся его расходу. Всякое нарушеніе этого равновѣсія, въ ту или другую сторону, ведетъ къ болѣе или менѣе серьезнымъ разстройствамъ организма. Поэтому, поддержаніе правильной тепловой экономіи тѣла имѣетъ весьма важное значеніе; а поддержаніе это зависитъ, въ значительной степени, отъ внѣшнихъ климатическихъ факторовъ.

Вырабатываемое въ организмѣ тепло потребляется различными путями:

1) пища и питье, вводимыя въ организмъ, имѣютъ температуру ниже температуры тѣла. Часть вырабатываемаго тепла идетъ на нагрѣваніе пищи и питья. Пусть это количество тепла равно A калоріямъ въ каждую единицу времени;

2) поступившій въ наши легкія воздухъ тоже нагрѣвается и при выдыханіи это тепло теряется въ окружающую среду. Обозначимъ это количество черезъ B. Величина его зависитъ отъ температуры вдыхаемаго воздуха;

3) съ поверхности кожи и съ поверхности легкихъ происходитъ постоянное испареніе влаги. На испареніе расходуется извѣстное количество тепла, которое называется *скрытымъ*. Пусть количество скрытаго тепла, потребляемаго на испареніе съ поверхности легкихъ будетъ C калорій (респирація), а на испареніе съ поверхности кожи (перспирація) D калорій;

4) тѣло наше находится въ средѣ и по сосѣдству съ предметами, имѣющими температуру, отличную отъ температуры тѣла; чаще всего, температура тѣла (36°.5—37°.5 Ц.) выше температуры окружающаго воздуха. А извѣстно, что всякое тѣло, находящееся въ средѣ, температура которой ниже температуры тѣла, теряетъ тепло въ окружающую среду двумя путями: путемъ лучеиспусканія (E калорій) и путемъ теплопроводности (F калорій). Эта потеря будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше разность между температурой тѣла и температурой среды и окружающихъ предметовъ.

Такимъ образомъ, полная отдача тепла въ окружающую среду и въ сосѣднимъ предметамъ выразится суммой членовъ:

$$X=A+B+C+D+E+F.$$

Digitized by Google

Для теплового равновѣсія необходимо, чтобы приходъ тепла, который обозначимъ черезъ P, постоянно равнялся расходу, т. е.

$$P=A+B+C+D+E+F.$$

Въ обширномъ курсѣ физіологіи Германа, на стр. 377, помѣщены числа Rosenthal'я, изъ которыхъ видно, что

на нагрѣваніе всѣхъ выдѣленій тѣла идетъ . .	7%
на испареніе воды съ поверхности легкихъ . .	7%
» » » » кожи . . .	15%
на излученіе съ поверхности кожи	42%
путемъ теплопроводности теряется	22%
на механическую работу затрачивается . . .	7%

Наибольшая потеря теплоты въ тепловомъ обмѣнѣ организма падаетъ на отдачу тепла во внѣшнюю среду путемъ испаренія съ поверхности легкихъ и кожи, а также путемъ излученія и путемъ теплопроводности. Общая сумма этой теплоты достигаетъ 86% всего теряемаго тепла.

Допустимъ, что мы находимся въ средѣ, температура которой ниже температуры нашего тѣла и пусть температура этой среды начнетъ постепенно понижаться; вслѣдствіе этого, теплоотдача путемъ излученія и теплопроводности станетъ быстро увеличиваться. Въ этомъ случаѣ, для поддержанія теплового равновѣсія, мы прибѣгаемъ къ увеличенію теплообразованія путемъ увеличенія сожигаемаго вещества (пищи) или окружаемъ себя непроводниками (одежда). Обратно, если температура среды повышается, приближаясь къ температурѣ тѣла, то теплоотдача въ окружающую среду, путемъ излученія и теплопроводности, должна уменьшаться. Въ организмѣ происходитъ накопленіе тепла, которое можетъ вызвать разстройства его функцій. Но не нужно упускать изъ вида, что на величину теплообмѣна вліяютъ еще два средніе члена — C и D, т. е. отдача тепла вслѣдствіе испаренія, какъ съ поверхности легкихъ, такъ и съ поверхности всей кожи.

Возвратимся теперь къ формулѣ теплового обмѣна организма

$$P=A+B+C+D+E+F.$$

Digitized by Google

Представимъ себѣ, что температура среды возрастаетъ, приближаясь къ нормальной температурѣ человѣческаго тѣла. Въ этомъ случаѣ, числа E и F уменьшаются; разность между вырабатываемымъ въ организмѣ тепломъ и отдачей его наружу нарушается; въ организмѣ происходитъ накопленіе тепла, вслѣдствіе чего самочувствіе наше нарушается. Регулирующее дѣйствіе, въ этомъ случаѣ, могутъ имѣть члены C и D и рѣшающее значеніе будетъ имѣть гигрометрическое состояніе воздуха, выраженное относительной влажностью, или, еще лучше, влажнымъ дефицитомъ. Допустимъ, что количество водяныхъ паровъ, заключенныхъ въ кубическомъ метрѣ воздуха, будетъ оставаться безъ измѣненія; при этомъ предположеніи, влажный дефицитъ возрастаетъ и воздухъ будетъ все болѣе и болѣе удаляться отъ насыщенія; онъ будетъ дѣлаться суше и суше. Но количество влаги, теряемое съ поверхности кожи и легкихъ, а слѣдовательно, и количество потребнаго для этого тепла, увеличится съ постепеннымъ увеличеніемъ влажнаго дефицита. Вслѣдствіе этого, накопленіе тепла, зависящее отъ увеличенія внѣшней температуры, будетъ регулироваться увеличеніемъ расхода вслѣдствіе испаренія. Огромную роль въ этой компенсаціи играетъ движеніе воздуха, вѣтеръ, увеличивающій скорость испаренія. Такимъ образомъ, при увеличеніи внѣшней температуры и одновременномъ увеличеніи сухости воздуха и его движенія, тепловой обмѣнъ, а слѣдовательно, и наше самочувствіе могутъ остаться въ равновѣсіи. Очевидно, что это равновѣсіе, которое назовемъ *тепловымъ комфортомъ*, можетъ имѣть мѣсто при различныхъ комбинаціяхъ температуры, влажности и скорости вѣтра. Въ Америкѣ сдѣланы были попытки построенія *кривыхъ комфорта*; эти кривыя опредѣляютъ собою такую комбинацію указанныхъ трехъ элементовъ (температуры, влажности и скорости вѣтра), при которой тепловое самочувствіе остается въ равновѣсіи. Изъ опыта, а также изъ хода кривыхъ, можно видѣть, что хорошее самочувствіе сохраняется, напримѣръ, при слѣдующихъ комбинаціяхъ:

температура (по Цельзію)	влажный дефицитъ (въ граммахъ)	скорость вѣтра (метры въ 1 секунду)
20°	3	3
25°	5	4
30°	10	6

Digitized by Google

Подобныя попытки составленія кривыхъ комфорта показали, что форма кривыхъ не вполнѣ одинакова для различныхъ субъектовъ; это вполнѣ понятно, такъ какъ самочувствіе можетъ зависѣть не исключительно отъ внѣшнихъ факторовъ, но и отъ физіологическаго и психическаго момента испытуемаго субъекта, а также, быть можетъ, и отъ другихъ неизвѣстныхъ еще намъ факторовъ, которые не приняты во вниманіе при построеніи нашихъ кривыхъ. Но совпаденіе и сходство въ общемъ ходѣ кривыхъ указываютъ на важное и несомнѣнное значеніе климатическихъ элементовъ въ жизнедѣятельности нашего организма.

Мы до сихъ поръ разсматривали случай повышенія температуры, причемъ допускали, что количество паровъ, заключенныхъ въ каждомъ кубическомъ метрѣ воздуха, или остается безъ измѣненія, или даже уменьшается. Мы видѣли, что въ этомъ случаѣ, до *извѣстнаго предѣла* конечно, тепловой балансъ организма, а слѣдовательно, и тепловое самочувствіе, могутъ оставаться въ равновѣсіи. Этимъ объясняется фактъ, что человѣкъ можетъ безъ вреда переносить довольно высокую температуру; необходимое условіе при этомъ—соотвѣтствующая сухость воздуха и его движеніе. Этимъ объясняются также наблюденія, показавшія, что кратковременное пребываніе въ очень высокихъ температурахъ, доходящихъ даже до 100°, производитъ незначительное сравнительно повышеніе температуры. Rohlfs говоритъ, что высокія температуры Сахары переносятся сравнительно легко, именно, вслѣдствіе сухости воздуха; тоже подтверждаетъ Годдъ относительно жаровъ южной Австраліи. Но болѣе продолжительное пребываніе въ средѣ очень высокой температуры можетъ вызвать нарушеніе равновѣсія и повышеніе температуры. Такъ напр., изъ оффиціальныхъ отчетовъ о германскомъ флотѣ за 1880—1881 годы видно, что въ кочегарняхъ, во время плаванія въ Средиземномъ морѣ, температура доходила до 70°; у трехъ кочегаровъ, впавшихъ въ безсознательное состояніе, температура тѣла была выше 40°. То же самое, т. е. повышеніе температуры, найдено Nocht'омъ у истопниковъ и кочегаровъ во время его поѣздки въ Нью-Іоркъ. Такъ, у 8 человѣкъ изъ 58, послѣ 2—3 часового пребыванія въ кочегарнѣ, температура тѣла поднялась до 38°.4.

Но условія теплообмѣна совершенно измѣняются, если, при

Digitized by Google

увеличеніи температуры, увеличивается влажность воздуха (т. е. влажный дефицитъ уменьшается). Въ этомъ случаѣ, уменьшается отдача тепла, какъ излученіемъ и теплопроводностью, такъ и путемъ испаренія. Въ организмѣ происходитъ сильное накопленіе тепла, которое можетъ причинить сильныя разстройства или даже смерть, наступающую иногда быстро при явленіяхъ, такъ называемаго, «солнечнаго или теплового удара», при которомъ температура тѣла, задержаннымъ испареніемъ, можетъ подняться до 42° и выше. Указанными только что условіями объясняется то тяжелое ощущеніе, которое мы испытываемъ въ тепломъ влажномъ воздухѣ Краснаго моря или передъ грозой. По наблюденіямъ Rubner'a и Левашева, уже относительная влажность въ 80%, даже при температурѣ 24°, становится невыносимой и вызываетъ, при продолжительномъ пребываніи въ такой средѣ, ощущеніе сильной тоски и удушья. Съ другой стороны, какъ мы видѣли раньше, воздухъ, даже болѣе высокой температуры (40°—50° Ц.), переносится легко, если влажность уменьшается до 22% и только при 15% влажности чувствуется извѣстная сухость въ глазахъ, носу и на губахъ.

Тепловой ударъ является слѣдствіемъ чрезмѣрнаго накопленія тепла, а слѣдовательно, повышенія температуры, происходящаго отъ совокупнаго дѣйствія причинъ, задерживающихъ потерю тепла съ поверхности кожи, а именно, высокой внѣшней температурой при высокой влажности. Солнечному удару подвергаются люди, занятые тяжелой работой, особенно на городскихъ улицахъ и площадяхъ, посреди домовъ и мостовыхъ, стоящіе въ сомкнутыхъ рядахъ, затянутые мундирами и обремененные оружіемъ. Для происхожденія солнечнаго удара не требуется даже непосредственнаго дѣйствія солнечной инсоляціи. Въ случаѣ удара, должны примѣняться всѣ мѣры, способствующія теплорасходу, т. е. перенесеніе пораженнаго въ холодное мѣсто, освобожденіе отъ лишней одежды, обрызгиваніе водой. Отсюда является естественно вопросъ о климатическомъ и гигіеническомъ оптимумѣ, т. е. наиболѣе благопріятной для нашего самочувствія комбинаціи температуры и влажности. Такой оптимумъ, по мнѣнію Rubner'a и Эрисмана, въ среднемъ, имѣетъ мѣсто при 20° С и отъ 30% до 60% относительной влажности.

До сихъ поръ мы разсматривали тотъ случай, когда тем-

Digitized by Google

пература окружающей насъ среды, оставаясь ниже температуры нашего тѣла, постепенно повышается. Если же температура окружающей среды *понижается*, то теплопотеря возрастаетъ вслѣдствіе увеличенія разности между температурой тѣла и среды. Но дѣйствіе низкихъ температуръ переносится человѣкомъ лучше, если онъ пользуется средствами защиты противъ чрезмѣрнаго холода (одежда, соотвѣтствующая пища, движеніе). При этомъ, какъ показали многочисленныя наблюденія, легче переносится холодный сухой воздухъ, чѣмъ холодный влажный. Миддендорфъ говоритъ, что человѣкъ можетъ переносить страшные холода полярныхъ странъ, только благодаря господствующей здѣсь сухости. Вообще, крайнія степени тепла и холода переносятся въ сухомъ воздухѣ гораздо легче, чѣмъ въ влажномъ. Въ холодномъ влажномъ воздухѣ ощущеніе холода не соотвѣтствуетъ дѣйствительной температурѣ среды; послѣднее обстоятельство объясняется тѣмъ, что влажный воздухъ представляетъ лучшій проводникъ тепла, чѣмъ сухой, а потому, потеря теплопроводностью увеличивается. Вліяніе влажнаго воздуха путемъ усиленія теплопроводности показано Rubner'омъ. Въ общемъ, среднее увеличеніе влажности на 1% усиливаетъ отдачу тепла на 32%.

Для скорости испаренія съ поверхности человѣческаго тѣла, Schierbeck даетъ формулу:

$$K = log \frac{B-f}{B f_1} (1 + \alpha t) \sqrt{w},$$

гдѣ B—барометрическое давленіе,

f—количество водяныхъ паровъ, дѣйствительно находящихся въ воздухѣ,

f_1—количество паровъ при точкѣ росы,

t—температура воздуха,

w—скорость движенія воздуха,

α—коэффиціентъ расширенія воздуха.

Въ дѣйствительности же дѣло еще сложнѣе. Кромѣ того, при испареніи съ поверхности живого организма, нужно принять во вниманіе не только чисто физическіе законы, но также физіологическій и психическій моменты, т. е. состояніе наруж-

Digitized by Google

ныхъ покрововъ и сосудовъ, настроеніе и нервное состояніе субъекта и т. п.[1]).

Эвапорометры и результаты наблюденій. Приборы, которые служатъ для опредѣленія количества испаряющейся воды на метеорологическихъ станціяхъ, называются *эвапорометрами* или *атмометрами*. Наиболѣе употребительные эвапорометры (Вильда и Любославскаго) описаны въ курсѣ метеорологіи Лачинова, а также въ «Инструкціи», изданной Главной Физической Обсерваторіей. Въ эвапорометрѣ Вильда, испареніе происходитъ съ поверхности воды въ чашкѣ, установленной на плечѣ вѣсовъ и стрѣлка вѣсовъ перемѣщается вдоль градуированной дуги, каждое дѣленіе которой соотвѣтствуетъ испаренію слоя въ 0.2 мм. толщиною. Атмометръ Пиша состоитъ изъ стеклянной трубки, наполненной водою и закрытой снизу кружкомъ изъ непроклееннаго картона. Этотъ кружокъ, съ маленькимъ отверстіемъ въ срединѣ, поддерживается особой пружинкой. Вода пропитываетъ кружокъ и съ его поверхности испаряется, а, вмѣсто нея, внутрь цилиндра черезъ отверстіе проникаетъ воздухъ. Количество испарившейся воды находятъ по пониженію уровня воды въ трубкѣ. Атмометръ Пиша необходимо градуировать, т. е. опредѣлить значеніе каждаго его дѣленія по сравненію съ абсолютными эвапорометрами.

Хотя полученные до сихъ поръ результаты не могутъ имѣть абсолютнаго значенія, тѣмъ не менѣе, приведемъ нѣкоторыя числа, дабы можно было, хотя въ грубыхъ чертахъ, судить объ общемъ характерѣ измѣненій этого важнаго метеорологическаго фактора. Въ измѣненіяхъ испаренія существуютъ суточные и годовые періоды. Суточные періоды должны быть особенно рѣзко выражены тамъ, гдѣ существуютъ значительные суточные періоды въ ходѣ температуры, влажности, и особенно, силы вѣтра. Такъ напримѣръ, въ Каирѣ, въ лѣтніе мѣсяцы (май—іюль) часовыя количества испаренія въ миллиметрахъ:

---

[1]) Подробнѣе см. Срезневскій. «Объ испареніи съ поверхности человѣческаго тѣла и растеній». Труды второго всероссійскаго съѣзда дѣятелей по климатологіи, гидрологіи и бальнеологіи. Т. I, 1905, стр. 291; а также Клоссовскій. «Климатологія въ связи съ климатотерапіей и гигіеной». Одесса. 1894.

Digitized by Google

	минимумъ	максимумъ
испареніе	0.91 (4 ч. а)	13.87 (2 ч. р.)
температура	18°.8 (4 ч. а)	34.0 (2 ч. р.)
скорость вѣтра . . .	1.9 кил. въ 1 ч. (6 ч. а)	14.0 кил. (3 ч. р.)

Въ общемъ, суточный ходъ испаренія соотвѣтствуетъ суточному ходу температуры воздуха. Такое же соотвѣтствіе испаренія и температуры, хотя не всегда столь рѣзко выраженное, можно видѣть и въ *годовомъ* ходѣ испаренія. Въ Одессѣ, напримѣръ, толщина слоя испаряющейся воды въ миллиметрахъ, по эвапорометру Вильда, установленному въ нормальной будкѣ обсерваторіи, слѣдующее:

январь	15.5 мм.	іюль	115.8 мм.
февраль. . . .	19.8 »	августъ . . .	133.2 »
мартъ	22.4 »	сентябрь . . .	86.7 »
апрѣль	46.4 »	октябрь. . . .	55.7 »
май	66.1 »	ноябрь	34 3 »
іюнь.	88.2 »	декабрь. . . .	15.7 »
	Годъ. . .	699.8	

Въ другихъ пунктахъ найдены слѣдующія годовыя числа:

надъ тропическимъ океаномъ . .	2160 мм.
въ Мадрасѣ	1930 »
» Ташкентѣ.	1339 »
» Croydon'ѣ, въ Англіи. . .	420 »
» Лондонѣ.	380 »
» Петербургѣ	320 »
» Тифлисѣ	537 »
» Кіевѣ	481 »
» Барнаулѣ	565 »
» Нерчинскѣ.	420 »

Но, повторяемъ, эти числа относятся къ прѣсной водѣ. По опытамъ Мазелле, морская вода, въ которой содержаніе соли равно 3.5%, испаряется медленнѣе. Въ слѣдующей таблицѣ по-

Digitized by Google

казано количество воды, испаряющейся въ сутки съ поверхности прѣсной и морской воды:

прѣсная вода .	0.36 мм.	1.03	2.80	6.4
морская » .	0.25 »	0.78	2.40	5.8
разность . . .	31%	24%	14%	9%

Гигрометры. Приборы, которые служатъ для опредѣленія основныхъ гигрометрическихъ элементовъ, называются *гигрометрами*[1]). Разсмотримъ принципы, на которыхъ основано устройство различныхъ гигрометровъ.

А) *Абсолютные гигрометры* даютъ возможность опредѣлить непосредственно или вѣсъ паровъ, заключенныхъ въ единицѣ объема воздуха, или упругость паровъ, дѣйствительно содержащихся въ воздухѣ. Вѣсовой абсолютный гигрометръ состоитъ изъ ряда *U*-образныхъ трубокъ, наполненныхъ какимъ-нибудь поглощающимъ влагу веществомъ; съ помощью аспиратора заставляютъ пройти черезъ трубки извѣстный объемъ воздуха, который отдаетъ свою влагу и тѣмъ увеличиваетъ вѣсъ трубокъ; если первоначальный вѣсъ трубокъ Q, а окончательный Q_1, то $Q_1—Q$ дастъ вѣсъ паровъ, находившихся въ измѣренномъ объемѣ воздуха; дѣля $Q_1—Q$ на N (число кб. м. воздуха), получимъ:

$$q=\frac{Q_1—Q}{N}.$$

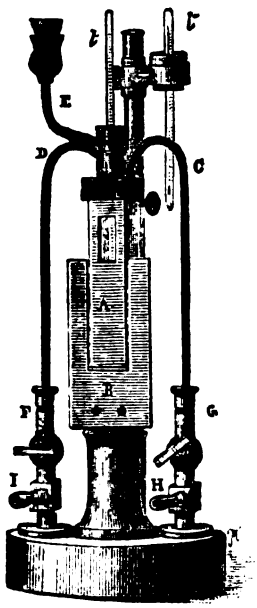
Абсолютный гигрометръ Эдельмана даетъ возможность опредѣлить e. Представимъ себѣ герметически закрытый резервуаръ, который, помощью крана, можетъ сообщаться съ наружнымъ воздухомъ. Сосудъ снабженъ ртутнымъ манометромъ. Если кранъ открытъ, то ртуть въ обоихъ колѣнахъ манометра будетъ на одной высотѣ. Когда установится равновѣсіе, кранъ закрываютъ и въ резервуаръ вводятъ какое-нибудь поглощающее влагу вещество, напр., H_2SO_4. Спустя нѣкоторое время H_2SO_4 поглотитъ изъ воздуха всю влагу и уменьшитъ его упругость на

[1]) Подробное изложеніе разнообразныхъ методовъ опредѣленія влажности можно найти въ книгѣ Wolpert'a: Die Luft und die Methoden der Hygrometrie. Это вторая часть книги: Theorie und Praxis der Ventilation und Heizung. Berlin.

Digitized by Google

e—(упругость поглощенныхъ паровъ); вслѣдствіе этого, въ наружномъ колѣнѣ манометра ртуть будетъ стоять ниже, чѣмъ во внутреннемъ и разность высотъ дастъ непосредственно абсолютную влажность [1]).

B) *Гигрометры, основанные на опредѣленіи точки росы.* Если мы станемъ постепенно понижать температуру извѣстной массы влажнаго воздуха, то пары будутъ приближаться къ состоянію насыщенія и, наконецъ, наступитъ такой моментъ, когда они достигнутъ состоянія насыщенія. Если въ этотъ моментъ опредѣлимъ температуру, то, по таблицѣ упругостей насыщенныхъ паровъ, найдемъ соотвѣтствующую этой температурѣ упругость. Эта упругость и дастъ намъ абсолютную влажность. На этомъ принципѣ устроены старые гигрометры Даніеля и Реньо. Болѣе удобную форму придалъ этому прибору Alluard. Гигрометръ Alluard'a состоитъ (фиг. 62) изъ резервуара A, имѣющаго форму параллелепипеда; въ этотъ резервуаръ входятъ двѣ трубки: одна DF доходитъ до дна, а другая GC оканчивается тотчасъ подъ крышкой; обѣ закрываются кранами. Черезъ воронку E сосудъ наполняется сѣрнымъ эфиромъ; термометры t и t служатъ для измѣренія температуры резервуара и среды. Передняя часть резервуара A хорошо вызолочена; на ней то и будетъ осаждаться роса. Для сравненія, рядомъ съ A укрѣплена, отдѣленная узкимъ промежуткомъ, U-образная вызолоченная поверхность B. Если станемъ продувать воздухъ чрезъ трубку, идущую до дна, то эфиръ начнетъ испаряться, что повлечетъ за собой охлажденіе, а пары, достигнувъ насыщенія, покроютъ переднюю стѣнку налетомъ



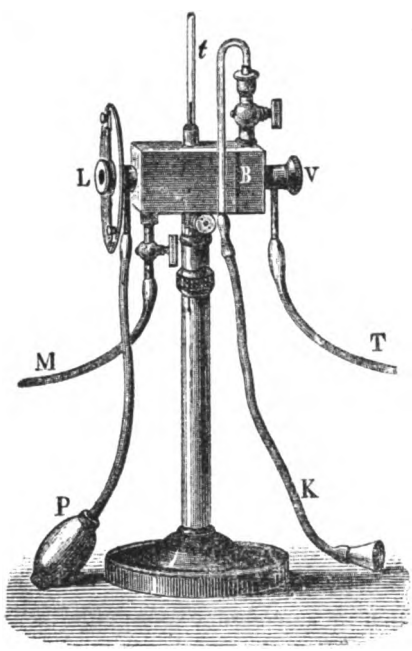
Фиг. 62.

[1]) Edelmann. Neues Hygrometer. S.-A. aus Widemann's Annalen. 1879.

росы. Замѣчаютъ температуру въ моментъ появленія росы. Затѣмъ охлажденіе прекращаютъ, улавливаютъ температуру въ моментъ исчезновенія росы, и берутъ среднее этихъ чиселъ. Положимъ, что средняя температура равна 8°; по таблицамъ найдемъ упругость пара, при 8° (7.99 mm). Это и будетъ *абсолютная* влажность. Чтобы опредѣлить относительную влажность, нужно знать E—упругость паровъ, насыщающихъ пространство, при температурѣ наружнаго воздуха. Пусть температура окружающаго воздуха равна 22°, а соотвѣтствующая упругость 19.63 мм. Въ этомъ случаѣ

$$e_1 = \frac{7.99}{19.63} 100 = 41\%.$$

Весьма удобенъ также гигрометръ съ внутреннимъ сгущеніемъ (Crova). Онъ представляетъ горизонтальный, никкелированный параллелепипедъ B (фиг. 63), внутри котораго проходитъ высеребренная съ внутренней стороны трубка LV. Одно отверстіе трубки закрыто матовымъ стекломъ другое—чечевицей, черезъ которую наблюдаютъ осажденіе росы на внутреннихъ стѣнкахъ трубки. Эта трубка, возлѣ матоваго стекла, соединена каучукомъ съ пространствомъ, влажность котораго нужно опредѣлить, а со стороны стекла L—съ всасывающей каучуковой грушей P. При помощи этой груши можно заставить циркулировать воздухъ по трубкѣ. Пространство внутри параллелепипеда наполняютъ эфиромъ и вставляютъ термометръ t. Въ этотъ резервуаръ идутъ двѣ трубки: одна M оканчивается вверху, другая K проникаетъ внутрь



Фиг. 63.

Digitized by Google

до дна. Для продуванія воздуха въ эфирѣ, вторая соединена съ ручнымъ мѣхомъ. Дѣйствуя грушей, заставляютъ наружный воздухъ циркулировать по трубкѣ; въ то же время, при помощи ручного мѣха, продуваютъ эфиръ; послѣдній начинаетъ испаряться, температура постепенно понижается и, наконецъ, на внутреннихъ стѣнкахъ трубки появится налетъ росы. По термометру опредѣляютъ температуру въ моментъ появленія росы, а въ дальнѣйшемъ поступаютъ по предыдущему.

Но для бѣглыхъ метеорологическихъ наблюденій эти гигрометры неудобны: они требуютъ много времени и сложныхъ манипуляцій. Вмѣсто нихъ пользуются *психрометромъ* Августа. Онъ состоитъ изъ двухъ термометровъ: шарикъ одного блестящій, а другого покрытъ батистомъ, конецъ котораго погруженъ въ стаканъ съ водою, вслѣдствіе чего батистъ непрерывно смачивается. Замѣтимъ, что батистъ долженъ плотно прилегать къ шарику. Первый термометръ измѣряетъ температуру воздуха; показанія другого будутъ тѣмъ ниже, чѣмъ суше воздухъ, такъ какъ съ поверхности его шарика идетъ испареніе, а это влечетъ за собой поглощеніе скрытой теплоты. Если обозначимъ температуру перваго термометра черезъ t, второго—t_1, то вообще $t-t_1>0$. Нетрудно показать, что разность показаній этихъ термометровъ должна находиться въ зависимости отъ упругости паровъ (e), находящихся въ воздухѣ. Разсмотримъ тепловое состояніе второго термометра: съ одной стороны, онъ получаетъ изъ окружающей среды нѣкоторый запасъ тепла, съ другой—нѣкоторая часть тепла тратится на работу испаренія. Наступитъ моментъ, когда приходъ будетъ равенъ расходу, и термометръ достигнетъ стаціонарнаго состоянія при температурѣ t_1. Опредѣлимъ, какое количество тепла вся поверхность шарика тратитъ на работу испаренія. Пусть поверхность шарика равна S, а скрытое тепло испаренія—r. По закону Dalton'a, количество воды, испаряющейся въ единицу времени съ единицы поверхности, пропорціонально влажному дефициту и обратно пропорціонально давленію, т. е.

$$f=a\frac{S(e_1-e)}{H},$$

гдѣ a—нѣкоторая постоянная величина; такъ какъ скрытая теплота испаренія r, то расходъ тепла R выразится:

Digitized by Google

$$R=aS\frac{e_1-e}{H}.r.$$

Съ другой стороны, шарикъ получаетъ нѣкоторый притокъ тепла изъ воздуха; такъ какъ температура его ниже температуры среды, то, по закону Ньютона, нашъ шарикъ получаетъ $(t-t_1)Sb$, гдѣ b—нѣкоторая постоянная величина. При *стаціонарномъ* состояніи

$$Sa\frac{e_1-e}{H}r=b(t-t_1)\ S \quad \text{откуда} \quad e_1-e=\frac{b}{ar}(t-t_1)H;$$

или

$$e=e_1-C(t-t_1)H.$$

Эта формула разложена въ таблицы, при помощи которыхъ e опредѣляется безъ всякихъ вычисленій. Коэффиціентъ C не имѣетъ вполнѣ постояннаго значенія; величина его зависитъ, между прочимъ, отъ скорости вѣтра, протекающаго мимо шарика [1]). При температурахъ ниже 0^0, показанія психрометра становятся сомнительными [2]). На метеорологическихъ станціяхъ примѣняется также волосяной гигрометръ. Приборъ этотъ основанъ на гигроскопичности человѣческаго волоса (фиг. 64). Одинъ конецъ предварительно выщелоченнаго волоса укрѣпляется неподвижно, а къ другому, перекинутому черезъ блокъ, подвѣшивается гирька. Къ блоку прикрѣплена стрѣлка, которая движется передъ дугой, раздѣленной на 100 частей. Стрѣлка стоитъ на нулѣ подъ колоколомъ насоса, изъ котораго совершенно удалены пары; если пространство подъ колоколомъ насыщено парами, то стрѣлка укажетъ 100. Если влажность увеличивается, волосъ удлиняется, и обратно [3]). На гигроскопичности нѣкоторыхъ тѣлъ основанъ

---

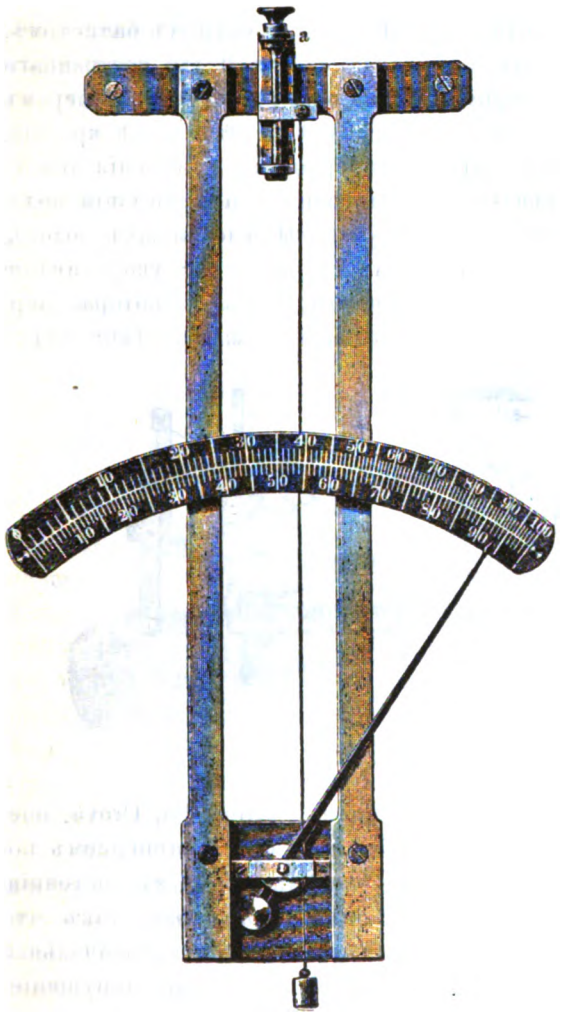
[1]) См. Инструкцію Главной Физической Обсерваторіи.

[2]) Подробная и полная теорія психрометра смотр. a) Зворыкинъ. Опредѣленіе влажности посредствомъ психрометра. Приложеніе къ XI тому «Записокъ Акад. Наукъ» 1881. b) Теорія Максвелля. изложенная въ Zeitschrift der Oester. Gesellschaft für Meteorologie, Bd. XVI, 1881 г. и Meteorologische Zeitschrift, Bd. VI, 1889 года.

[3]) Теорія волосянаго гигрометра см. Sreznevsky. «Théorie de l'hygrometre à cheveu» (Ученыя записки Юрьевскаго университета, 1895, № 3, стр. 38). Волосокъ гигрометра долженъ быть предварительно извѣстнымъ образомъ обработанъ. Приводимъ здѣсь способъ, сообщенный намъ физикомъ Павловской магнитной обсерваторіи В. В. Кузнецовымъ: 1) нужно варить

Digitized by Google

также гигрометръ Нодона. Онъ состоитъ изъ полоски бристольской бумаги, покрытой равномѣрнымъ слоемъ желатина съ салициловой кислотой; эта полоска свертывается спиралью, и къ концу ея прикрѣпляется стрѣлка; она движется передъ циферблатомъ, крайнія цифры котораго (100 и 0) вполнѣ соотвѣтствуютъ такимъ же въ волосяномъ гигрометрѣ. Уголъ закручиванія спирали вообще пропорціоналенъ измѣненіямъ относительной влажности. Приборъ крайне чувствительный. Коробка прибора снабжена снаружи отверстіями для свободнаго притока воздуха къ спирали.



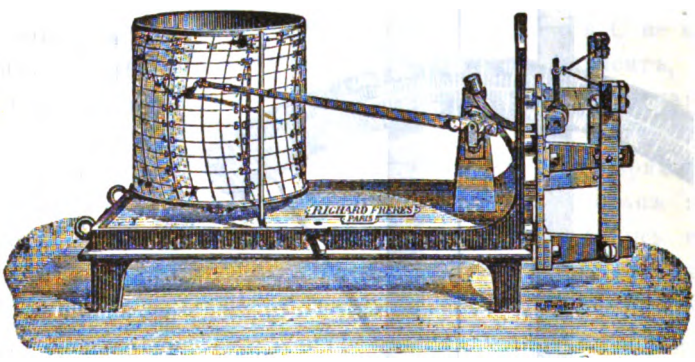
Фиг. 64.

Существуютъ также приборы, ре-

волосъ въ теченіе отъ $^1/_2$ часа до 1 часа въ 3% растворѣ поташа (въ дистиллированной водѣ), добавляя, по временамъ, дистиллированную воду, чтобы не увеличивалась концентрація раствора вслѣдствіе испаренія воды, 2) промывать въ теченіе 1–2 сутокъ въ дистиллированной водѣ (мѣняя нѣсколько разъ воду), чтобы удалить слѣды поташа, 3) послѣ этого, промывать въ теченіе 1—2 часовъ въ винномъ спиртѣ, 4) сушить волосъ между листами пропускной бумаги.

Digitized by Google

гистрирующіе измѣненія влажности. Самопишущій психрометръ Ришара состоитъ изъ двухъ металлическихъ изогнутыхъ резервуаровъ, изъ которыхъ одинъ сухой, а другой покрытъ батистомъ, конецъ котораго опущенъ въ сосудъ съ водой для постояннаго смачиванія. Каждый резервуаръ снабженъ рычажкомъ съ перомъ на концѣ; этими перьями на барабанѣ чертятся двѣ кривыя, одна надъ другой; онѣ даютъ непрерывныя измѣненія температуры сухого и влажнаго термометровъ. Самопишущій волосяной гигрометръ состоитъ изъ пучка выщелоченныхъ волосъ, натянутаго между вилками прибора. Удлиненіе или укорачиваніе пучка передается, при помощи рычажка, стрѣлкѣ, которая чертитъ на барабанѣ кривую относительной влажности (фиг. 65).



Фиг. 65.

Примѣненіе гигрометровъ Regnault, Alluard'a, Crova, очевидно, основано на томъ допущеніи, что, при постепенномъ пониженіи температуры среды, пары приближаются къ состоянію насыщенія, *не измѣняя своей абсолютной упругости*, такъ что упругость, достигшихъ насыщенія, паровъ равна первоначальной ихъ упругости. Необходимо строже обосновать это допущеніе. Положимъ, что

p—полное давленіе воздуха,

t—температура среды,

e_1—упругость паровъ, находящихся въ данный моментъ въ воздухѣ,

t_1—ихъ точка росы,

e_m—максимальная упругость, соотвѣтствующая температурѣ t_1.

Digitized by Google

Докажемъ, что $e_1 = e_m$. Для этого представимъ себѣ, что взятая нами проба воздуха, заключенная въ неизмѣняемую, неотдающую и не получающую тепла, оболочку, охлаждена предварительно отъ t^0 до $t_1{}^0$ и затѣмъ опять нагрѣвается до температуры t^0; при этомъ процессѣ, очевидно, упругость паровъ возрастетъ отъ e_m до $e_m \frac{273+t}{273+t_1}$. Въ такомъ же отношеніи увеличится общая упругость всей смѣси воздуха и паровъ $\left(\text{отъ } p \text{ до } p\frac{273+t}{273+t_1}\right)$. Чтобы возстановить прежнее давленіе p, необходимо, чтобы наша проба воздуха расширилась въ отношеніи $(273+t_1):(273+t)$. Но при этомъ расширеніи, упругость $e_m \frac{273+t}{273+t_1}$ уменьшится до e_m. Но такъ какъ теперь возстановлено первоначальное состояніе нашей пробы, то, очевидно, $e_m = e_1$.

Cantor теоретически показалъ, что точка насыщенія паровъ и точка ихъ росы, полученныя изъ наблюденій, тогда только совпадаютъ, когда жидкость, образующаяся при сгущеніи, смачиваетъ поверхность, на которой должна образоваться роса. Если же жидкость не смачиваетъ поверхности осажденія, то точка росы получается ниже точки насыщенія. Такъ напримѣръ, при осажденіи паровъ воды на поверхности нефти, точка росы получалась при 18°, тогда какъ точка насыщенія равнялась 21.2°. Изъ этого замѣчанія слѣдуетъ, что поверхность (стекло, металлъ), на которой наблюдается роса, должна быть тщательно вычищена.

Измѣненія гигрометрическаго состоянія во времени и въ пространствѣ. Температура на земной поверхности подвержена непрерывнымъ измѣненіямъ. Съ другой стороны, въ атмосферѣ происходятъ постоянно процессы испаренія и осѣданія паровъ; наконецъ, пары, образовавшіеся въ извѣстномъ мѣстѣ, могутъ переноситься или путемъ диффузіи, или путемъ механическаго переноса воздушными теченіями. Указанные факторы обусловливаютъ постоянныя измѣненія гигрометрическаго состоянія воздуха, какъ во времени, такъ и въ пространствѣ. Измѣненія гигрометрическаго состоянія во времени выражаются въ существованіи суточныхъ и годовыхъ періодовъ. Надъ водянымъ пространствомъ абсолютная влажность въ утренніе часы наименьшая; съ возрастаніемъ температуры, она увеличивается и

Digitized by Google

затѣмъ падаетъ, т. е. ходъ ея параллеленъ ходу температуры. Подобный ходъ имѣетъ мѣсто и на континентахъ въ тѣ времена года, въ которыя суточный ходъ температуры незначителенъ. Вообще же, на сушѣ суточный ходъ абсолютной влажности иной: въ ранніе утренніе часы влажность наименьшая; въ 8—9 ч. утра она достигаетъ максимума; затѣмъ падаетъ и около 3—4 ч. пополудн. наступаетъ минимумъ, а въ 8—10 ч. вечера — второй максимумъ. Объясняется явленіе слѣдующимъ образомъ: съ восходомъ солнца, вслѣдствіе повышенія температуры, количество паровъ возрастаетъ. Къ полудню, вслѣдствіе усиленія восходящихъ токовъ, происходитъ перемѣшиваніе верхнихъ слоевъ, болѣе сухихъ, съ болѣе влажными нижними массами и абсолютная влажность уменьшается (второй минимумъ). Прекращеніе восходящихъ токовъ влечетъ появленіе вечерняго максимума. Ночью большая часть паровъ сгущается вслѣдствіе охлажденія и падаетъ въ видѣ тумана, росы или инея. Иной суточный ходъ имѣетъ абсолютная влажность на горахъ. На горахъ минимумъ наступаетъ утромъ, а максимумъ послѣ полудня. Подобныя суточныя измѣненія являются, очевидно, результатомъ смѣны восходящихъ и нисходящихъ токовъ вдоль склона горы.

Въ *годовомъ* ходѣ, абсолютная влажность, за немногими исключеніями (область муссоновъ и нѣкоторыя тропическія страны), слѣдуетъ за годичнымъ ходомъ температуры. Слѣдующія числа показываютъ суточный ходъ абсолютной и относительной влажности въ Одессѣ въ январѣ и іюлѣ:

	январь		іюль	
	абс.	отн.	абс.	отн.
1 ч. пополун.	2.95	89.2	13.33	76.3
2 » »	2.91	88.6	13.36	78.4
3 » »	2.90	88.7	13.20	79.0
4 » »	2.89	88.7	13.08	79.9
5 » »	2.89	88.8	13.10	78.9
6 » »	2.90	89.1	13.40	75.4
7 » »	2.91	89.3	13.45	71.8
8 » »	2.91	89.4	13.64	67.8
9 » »	2.96	88.7	13.71	64.9

Digitized by Google

	январь		іюль	
	абс.	отн.	абс.	отн.
10 ч. пополун.	3.00	87.4	13.90	62.5
11 » »	3.06	86.2	13.97	60.4
полдень . . .	3.10	84.9	13.83	58.3
1 ч. пополудн.	3.12	84.3	13.45	56.1
2 » »	3.14	84.0	13.48	55.0
3 » »	3.16	84.0	13.45	55.4
4 » »	3.15	84.8	13.44	55.5
5 » »	3.15	86.3	13.25	55.0
6 » »	3.12	86.9	13.06	55.0
7 » »	3.13	87.5	12.83	57.9
8 » »	3.11	87.7	12.77	62.7
9 » »	3.14	88.5	13.01	66.4
10 » »	3.11	89.2	13.19	69.4
11 » »	3.06	88.9	13.27	71.8
полночь . . .	3.01	88.9	13.42	74.4

Ходъ относительной влажности вообще обратенъ ходу температуры: относительная влажность увеличивается съ уменьшеніемъ температуры и обратно. Но въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ существуютъ періодическія воздушныя теченія, приносящія съ собою запасъ влаги (муссонъ, горный вѣтеръ), тамъ относительная влажность повышается вмѣстѣ съ повышеніемъ температуры. Желающимъ ближе и детальнѣе ознакомиться съ періодическими колебаніями влажности, совѣтуемъ обратиться къ прекрасной статьѣ проф. Воейкова «Влажность воздуха», напечатанной въ № 1—2 «Метеорологическаго Вѣстника» за 1906 годъ, стр. 7—20, а также къ курсу метеорологіи того-же автора. Годичный ходъ абсолютной и относительной влажности въ Одессѣ можно видѣть въ слѣдующей таблицѣ:

январь . .	3.03	87.5	май . . .	9.93	75.0
февраль. .	3.63	85.1	іюнь. . .	12.24	72.3
мартъ . .	4.51	85.7	іюль. . .	13.36	66.2
апрѣль . .	5.94	74.6	августъ. .	11.86	58.9

Digitized by Google

сентябрь .	10.35	65.7	ноябрь . .	5.18	79.6
октябрь. .	8.73	78.7	декабрь. .	4.23	84.0
			годъ. . .	7.75	76.1

Географическое распредѣленіе паровъ вдоль земной поверхности находится въ тѣсной зависимости отъ распредѣленія температуры, такъ что̀ изолиніи упругости паровъ идутъ почти параллельно изотермамъ. Исключенія составляютъ только континентальныя пустыни, гдѣ температура воздуха высока, а упругость паровъ сравнительно мала. Вообще, абсолютная влажность уменьшается отъ экватора къ полюсамъ. Что касается относительной влажности, то она находится въ болѣе тѣсной связи съ физическимъ состояніемъ поверхности земли. Такъ, надъ океанами относительная влажность, почти на всемъ пространствѣ отъ экватора къ полюсу, одинакова и равна 80%, и только въ области пассатовъ она падаетъ до 75%. На континентѣ же она уменьшается отъ берега къ центру; исключеніе составляютъ большіе континенты холоднаго пояса. Дѣло въ томъ, что въ холодномъ поясѣ континентъ зимою сильно охлаждается и, хотя количество паровъ незначительно, но, вслѣдствіе низкой температуры, пары близки къ состоянію насыщенія, и потому относительная влажность отъ моря къ центру континента даже можетъ увеличиваться. Общій законъ распредѣленія абсолютной и относительной влажности таковъ: съ повышеніемъ температуры абсолютная влажность возрастаетъ, а относительная уменьшается; при пониженіи температуры имѣетъ мѣсто обратное явленіе. Слѣдующая таблица Арреніуса представляетъ среднее распредѣленіе влажности на земной поверхности по поясамъ въ 10°:

сѣверное полушаріе

	70-60	60-50	50-40	40-30	30-20	20-10	10-0
отн. влажность въ %	82	78	74	70	71	75	79
абс. влажность въ мм.	3.1	4.9	7.0	9.7	13.8	17.2	18.9

южное полушаріе

	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60
относит. влажность въ %	81	79	77	79	81	81
абсолют. влажность въ мм.	18.7	16.4	13.2	9.8	7.0	4.5

Digitized by Google

Какъ видно изъ таблицы, между экваторомъ и 10° ю. ш. относительная влажность достигаетъ 81%. Къ сѣверу и къ югу она уменьшается и въ области пассатовъ падаетъ до 70—71%, а къ полюсамъ опять увеличивается. Абсолютная влажность вполнѣ зависитъ отъ температуры: гигрометрическій экваторъ совпадаетъ съ термическимъ.

Другая таблица Арреніуса даетъ абсолютную влажность нѣсколькихъ мѣстъ въ различные часы сутокъ:

часы сутокъ пополуночи						часы сутокъ пополудни						
12	2	4	6	8	10	12	2	4	6	8	10	Ампл.
Тропическій океанъ лѣтомъ. 18.80 мм.+												
−0.25	−0.40	−0.47	−0.36	−0.06	+0.29	0.51	0.49	0.31	0.11	−0.03	−0.13	0.98
Нукусъ зимой. 3.32 мм.+												
−0.09	−0.20	−0.32	−0.39	−0.34	−0.02	+0.18	0.36	0.41	0.26	0.16	−0.01	0.80
Нукусъ лѣтомъ. 8.92 мм.+												
0.45	0.31	0.18	0.78	0.45	−0.39	−1.05	−1.25	−0.79	+0.08	0.68	0.51	2.03

Числа 18.80 и 3.32 являются средними числами, къ которымъ алгебраически прибавляются числа, приходящіяся на каждый часъ въ теченіе сутокъ. Такъ, максимальная влажность лѣтомъ въ тропическомъ океанѣ приходится на полдень и равна 18.80+0.51=19.31. Максимумъ въ Нукусѣ зимой приходится на 4 ч. дня и равенъ 3.32+0.41=3.73; минимумъ въ 6 ч. утра равенъ 3.32+(−0.39)=2.93. Тутъ же выписаны и амплитуды колебаній. Посреди океана онѣ меньше 1 мм. (0.98). Въ Нукусѣ зимою амплитуда также мала (0.80), лѣтомъ 2.03. Такимъ образомъ измѣненія амплитуды совершаются въ малыхъ предѣлахъ.

Крайнія значенія абсолютной влажности, наблюдавшіяся до сихъ поръ, слѣдующія: 31.9 мм.—въ Джиддѣ въ Аравіи и менѣе 0.1 мм.—въ сѣверо-восточной Сибири и въ очень высокихъ слояхъ атмосферы. Относительная влажность можетъ падать до 13% (долина смерти).

Распространеніе атмосферы паровъ по вертикальному направленію. Каково распространеніе паровъ въ атмосферѣ по вертикальному направленію? Еще недавно, исходя изъ законовъ диффузіи Dalton'a, допускали, что водяные пары, подобно кислороду и азоту, образуютъ *самостоятельную* атмосферу и что дав-

Digitized by Google

леніе воздуха на земной поверхности, измѣряемое барометромъ, слагается изъ давленія сухого воздуха + давленіе самостоятельной атмосферы паровъ; давленіе это равно вѣсу паровъ, заключенныхъ въ столбѣ воздуха отъ поверхности земли до крайнихъ предѣловъ атмосферы. Если упругость паровъ у поверхности земли равна e мм. ртутнаго столба, то вѣсъ паровъ въ столбѣ воздуха, основаніе котораго равно 1 кв. метру, долженъ равняться, при допущеніи самостоятельной атмосферы паровъ, $e \times 13.6$ килограмма, гдѣ 13.6 есть удѣльный вѣсъ ртути. Если бы эти пары перешли въ жидкое состояніе, то они дали бы слой осадковъ (дождя) толщиною въ $e \times 13.6$ мм. Но мысль о самостоятельной атмосферѣ паровъ не выдерживаетъ научной критики, такъ какъ: 1) она не согласуется съ наблюденіями, и 2) температура кладетъ извѣстные предѣлы для распространенія подобной атмосферы. Такъ напримѣръ, на экваторѣ температура на высотѣ 5100 м. достигаетъ 0°. Допустимъ, что упругость паровъ у земной поверхности равна 21 мм. Если бы имѣла мѣсто самостоятельная атмосфера паровъ, то, по гипсометрической формулѣ, можно было бы вычислить, какова должна быть упругость паровъ на этой высотѣ; необходимо только въ этой формулѣ постоянный коэффиціентъ 18401 замѣнить, для водяной атмосферы, числомъ 29540. По этой формулѣ найдемъ, что упругость паровъ на высотѣ 5100 метр. должна равняться 14.3 мм; между тѣмъ, по таблицамъ упругостей паровъ, максимальная упругость при температурѣ 0° равна 4.6 мм. Кромѣ того, слѣдующіе ряды чиселъ показываютъ, что паденіе упругости паровъ съ высотою идетъ быстрѣе, чѣмъ это слѣдуетъ по гипсометрической формулѣ; I-й рядъ—высоты (въ тысячахъ футовъ), II-й рядъ—дѣйствительная упругость паровъ, найденная изъ наблюденій на горахъ, III-й рядъ—упругость паровъ при допущеніи самостоятельной атмосферы паровъ:

I)	0	1	2	4	6	8	10	12	14	16
II)	1	0.85	0.80	0.64	0.51	0.40	0.32	0.28	0.21	0.18
III)	1	0.98	0.95	0.91	0.87	0.83	0.79	0.76	0.72	0.68

Изъ всего выше изложеннаго можно сдѣлать общій выводъ, что пары воды сосредоточены, главнымъ образомъ, въ нижнихъ слояхъ атмосферы. До высоты 2000 m. находится $^1/_2$ всѣхъ паровъ, выше 5000 м. находится около $^1/_{10}$ всѣхъ паровъ. Если

Digitized by Google

на пути господствующихъ вѣтровъ находится горный кряжъ, то достаточно 2000 м. высоты, чтобы онъ задержалъ половину всѣхъ паровъ. Въ свободной атмосферѣ абсолютная упругость водяныхъ паровъ убываетъ съ высотою еще быстрѣе, чѣмъ на горныхъ станціяхъ. Въ слѣдующей таблицѣ показано среднее убываніе упругости паровъ въ свободной атмосферѣ и на горахъ, причемъ упругость на поверхности земли принята за единицу:

высота въ километрахъ . .	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8
въ свобод. атм.	0.83	0.68	0.41	0.26	0.17	0.11	0.05	0.028	0.013
на горахъ . .	0.83	0.70	0.48	0.34	0.23	0.16	—	—	—

Замѣчательно, что убываніе абсолютной влажности съ высотою вездѣ почти происходитъ по одному и тому же закону. Въ Швейцаріи и на Цейлонѣ, на высотѣ 2000 метровъ, упругость паровъ составляетъ 50% той, которая имѣетъ мѣсто на земной поверхности, хотя внизу упругость выражается числомъ 22 мм. на Цейлонѣ и числомъ 7 мм. въ Швейцаріи. На Sonnblick'ѣ (около 3000 метр.), зимою, упругость водяныхъ паровъ (1.5 мм.) составляетъ 37% упругости на земной поверхности (4 мм.) Точно также на Явѣ, на земной поверхности упругость равна 20 мм., а на высотѣ 3000 метровъ 7.2 мм., что составляетъ 36%. Распредѣленіе паровъ по вертикальному направленію отличается значительной правильностью и можетъ быть выражено эмпирической формулой:

$$e_h = e_0 10^{-\frac{h}{6300}},$$

гдѣ e_0—упругость у земной поверхности,
» e_h— » на высотѣ h метровъ.

Süring даетъ болѣе сложную формулу:

$$e_h = e_0 10^{-\frac{h}{6}\left(1+\frac{h}{20}\right)}.$$

Измѣненіе относительной влажности съ высотою въ высшей степени неправильно и общей формулы составить нельзя. Отно-

Digitized by Google

сительная влажность, въ томъ ярусѣ атмосферы, гдѣ происходитъ образованіе облаковъ, нѣсколько выше, а затѣмъ быстро уменьшается. Вотъ результаты, найденные помощью змѣевъ:

высота въ м.	490	650	970	1300	1600	1950	2270
влажность въ %	65	65	65	64	58	59	51

Изъ наблюденій на воздушныхъ шарахъ въ Германіи:

высота въ м.	0	500	1000	2000	3000	4000	4500
влажность въ %	77	71	71	57	55	53	54

Для убыванія давленія воздуха съ высотой имѣемъ:

$$p_h = p_0 10^{-\frac{h}{18400}},$$

откуда

$$p_h^{\,3} = p_0^{\,3} 10^{-\frac{h}{6133}}.$$

Приблизительно:

$$\frac{e_h}{p_h^{\,3}} = \frac{e_0}{p_0^{\,3}} \text{ или } \frac{e_h}{e_0} = \left(\frac{p_h}{p_0}\right)^3$$

Общее содержаніе паровъ, находящихся въ атмосферѣ до высоты h, если средняя температура всего слоя равна 12^0, можетъ быть вычислено по формулѣ

$$p = \frac{2.3 e_0}{1+\alpha t}\left(1 - 10^{-\frac{h}{5000}}\right).$$

Если, напримѣръ, $e_0 = 11$ мм., $h = 2000$ метр., то

$$p = 14.3 \text{ килограмма.}$$

Процессъ, обратный испаренію, *сущеніе* или *осѣданіе* паровъ, будетъ подробно разсмотрѣнъ въ особой главѣ.

Въ заключеніе, приведемъ основныя **физическія постоянныя для ртути, воздуха и воды въ различныхъ ея состояніяхъ** [1]).

[1]) По Landolt-Börnstein'y «Physikalisch-chemische Tabellen». Berlin. 1905 и Winkelmann'y «Handbuch der Physik. 1906».

Digitized by Google

Плотность ртути (тверд.) при —39°.	14. 38
» » » —20.	13.645
» » » 0.	13.595
» » » 10.	13.571
» » » 20.	13.546
» » » 30.	13.522
Удѣльный объемъ ртути при 0.	0.073554

Объемъ ртути при температурѣ t^0 (между 0° и 100°):

$$V_t = V_0\left[1+0.018161\frac{t}{100}+0.000078\left(\frac{t}{100}\right)^2\right].$$

Средній коэффиціентъ расширенія ртути при температурѣ t^0 по Broch'y

$$\alpha = a+bt+ct^2,$$

гдѣ

$$a=0.000181792,$$

$$b=0.000000000175,$$

$$c=0.000000000035116.$$

По Менделѣеву:

$$\alpha = 0.0001801+0.00000002\,t.$$

Средній коэффиціентъ между 0° и 100°

$$\alpha = 0.00018245.$$

Теплоемкость ртути:

$$c = 0.03366-0.0000069\,t.$$

Если p—давленіе воздуха, выраженное въ сантиметрахъ ртутнаго столба,
t—температура,
B—широта мѣста,
H—высота мѣста надъ уровнемъ моря,
R—радіусъ земли,
f—абсолютная влажность,

то плотность воздуха

$$d = 0.001293053\frac{p-0.354\,(1+0.00366\,t)\,f}{(1+0.00366\,t)\,76}(1-0.0026\,Cos\,2\,B)\left(1-2\frac{H}{R}\right).$$

Digitized by Google

Отсюда, при давленіи $p=76$ сант.:

t	d	t	d
—20°	0.0013952	10	0.001247
—10	0.0013421	20	0.001205
0	0.0012930	30	0.001165

Плотность другихъ газовъ при 0°:

	плотность воздуха=1	плотность воды=1
кислородъ . . .	1.1056	0.001430
азотъ	0.9673	0.001254
водородъ	0.0696	0.000090
водян. пары . .	0.6235	0.000806

Коэффиціентъ расширенія воздуха:

Magnus	0.0036700
Regnault	0.0036694
Joly	0.0036702
Среднее	0.0036699
Hoffmann	0.0036696

Теплоемкость нѣкоторыхъ газовъ:

	плотность	c_p	c_v	$\frac{c_p}{c_v}$
кислородъ . . .	0.1056	0.2175	0.1544	
азотъ	0.9673	0.2438	0.1735	
водородъ	0.0696	3.4090	2.4263	
воздухъ	1.0000	0.2375	0.1690	1.405

Для нагрѣванія грамма воздуха на 1° нужно 0.2375 калоріи; для нагрѣванія одного кубич. сантиметра воздуха требуется 0.00031 калоріи, такъ какъ одинъ кубич. сантиметръ воздуха вѣситъ 0.00129 грамма. Слѣдовательно, кубич. сантиметръ воды требуетъ для нагрѣванія на 1° въ 3226 разъ больше тепла, чѣмъ кубич. сантиметръ воздуха. Поэтому, если надъ водной поверхностью находится слой воздуха на 10° теплѣе, то 322.6 куб. сантиметра воздуха должны отдать весь свой избытокъ тепла для того, чтобы нагрѣть слой воды толщиною въ одинъ санти-

Digitized by Google

метръ на 1°; иначе говоря, слой воды толщиною въ 1 сантиметръ, охладившись на 1°, можетъ нагрѣть слой воздуха въ 32 метра высоты на 1°.

Скорость звука въ воздухѣ (v) измѣняется съ температурой (t):

t	v	t	v
—40°	305.37	20°	342.52
—20	318.24	40	354.09
0	330.60	60	365.19

Критическія температуры:

кислородъ . . .	—118°0
азотъ	—146.0
углекислота . . .	30.9—31.9

Плотность (δ) и удѣльный объемъ (v), т. е. объемъ одного килограмма воды при различныхъ температурахъ (t):

t	δ	v
—10°	0.99815	1.00186
— 5	0.99930	1.00070
0	0.99987	1.000132
4	1.00000	1.000000
5	0.999992	1.000008
10	0.999727	1.000273
15	0.999126	1.000874
20	0.998230	1.001773
25	0.997071	1.002938
30	0.995673	1.004346

Плотность льда при 0° . . . 0.9167
» » » —10 . . . 0.9186
» » » —20 . . . 0.9203

Максимумъ плотности воды при 4°.0.

Средній коэффиціентъ сжатія (β) воды при давленіяхъ отъ 1 до 25 атмосферъ и температурахъ отъ 0° до 20°

$$=0.0000505.$$

Digitized by Google

Постоянная капиллярности воды $a^2=rh$ (поднятіе въ капиллярѣ, радіусъ коего равенъ 1 мм.) и поверхностное натяженіе (α) при различныхъ температурахъ (t):

t	a^2	$\alpha \frac{mg}{mm}$
0°	15.405	7.692
5	15.254	7.617
10	15.103	7.541
15	14.961	7.465
20	14.823	7.390
25	14.688	7.314
30	14.566	7.238

Температура (t_p) максимума плотности воды при различныхъ давленіяхъ (p):

p (въ атмосфер.)	t_p	p (въ атмосфер.)	t_p
1.00	4°.0	10.50	3°.4
2.85	3.9	41.60	3.3
4.06	3.8	144.80	0.6

или приблизительно:

$$t_p=4^{\circ}.0-0^{\circ}.0225\,(p-1).$$

Объемъ воды при различныхъ температурахъ между 0° и 33°

$$V_t=V_0(1+at+bt^2+ct^3+et^4),$$

гдѣ $a=-6427.10^{-8}$, $b=85053.10^{-10}$,

$c=-67898.10^{-12}$, $e=40121.10^{-14}$.

Теплоемкость воды по Winkelmann'у:

$$c_t=1-0.0006684\,t+0.00001092\,t^2.$$

Минимумъ (при $t=30^{\circ}.6$) . . . $c=0.9898$
При 100° . . . . . $c=1.0424$
Среднее (между 0° и 100° . . $c=1.0030$

Теплота плавленія льда по Bunsen'у:

$$r=80.025.$$

Digitized by Google

Измѣненіе температуры (Θ) плавленія льда при измѣненіи давленія на одну атмосферу:

$$\Theta^0 = 10333 \frac{AT(\sigma - s)}{\varrho},$$

гдѣ σ — объемъ килограмм. воды. . . 0.001 куб. метра,
s — » » льда 0.001091 » » ,
T — » » 273°,
ϱ — скрытое тепло плавленія льда 80 калор.,
A — тепловой эквивалентъ единицы работы $\frac{1}{425}$.

$$\Theta = -0^0.00753,$$

т. е. температура плавленія льда понижается на $0^0.00753$ при повышеніи давленія на одну атмосферу. Если давленіе увеличится на 132.8 атмосферы, то температура плавленія понизится на 1^0.

Тепло (λ), нужное для нагрѣванія воды отъ 0^0 до t^0 и обращенія ея въ пары, имѣющіе ту же температуру t^0:

a) по Regnault

$$\lambda = 606.5 + 0.305\, t$$

b) по Winkelmann'y:

$$\lambda = 589.5 + 0.7028\, t - 0.0031947\, t^2 + 0.000008447\, t^3.$$

Тепло (r), нужное для обращенія воды при t^0 въ пары той же температуры:

a) по Regnault

$$r = 606.5 - 0.695\, t$$

b) по Winkelmann'y

$$r = 589.5 - 0.2972\, t - 0.0032147\, t^2 + 0.000008147\, t^3.$$

Упругость (E) насыщенныхъ водяныхъ паровъ, вѣсъ (Q) насыщенныхъ водяныхъ паровъ, при давленіи 1 атмосферы, заключенныхъ въ одномъ кубическомъ метрѣ и объемъ (V) одного килограмма паровъ, даны въ слѣдующей таблицѣ:

Digitized by Google

	E	Q	V
0°	4.57 мм.	4.835 гр.	210.68 куб. метр.
5	6.51 »	6.761 »	150.24 » »
10	9.14 »	9.329 »	108.52 » »
15	12.67 »	12.712 »	79.365 » »
20	17.36 »	17.117 »	58.727 » »
25	23.52 »	22.715 »	43.968 » »
30	31.51 »	30.036 »	33.270 » »
35	41.78 »	39.183 »	25.439[1]) » »

Ледъ можетъ непосредственно испаряться т. е. переходить въ газообразное состояніе. Упругости насыщенныхъ паровъ надъ льдомъ (p) и надъ водой (p_1) неодинаковы. По наблюденіямъ Juhlin'a:

t	p_1	p
0°	4.88 мм.	4.58 мм.
— 2	3.99 »	3.92 »
— 4	3.45 »	3.33 »
— 6	2.97 »	2.82 »
— 8	2.56 »	2.38 »
—10	2.20 »	2.00 »
—15	1.45 »	1.26 »

Приведемъ еще нѣкоторыя эмпирическія формулы для выраженія упругости насыщенныхъ водяныхъ паровъ въ функціи температуры:

а) формула Roche'a

$$p = 760.10^{\frac{ax}{1+cx}}$$

гдѣ $x = 100 - t$, $a = 0.1644$, $c = 0.03$

[1]) Подробныя таблицы упругостей водяныхъ паровъ см. a) Landolt-Börnstein. Physikalisch-chemische Tabellen. Berlin. 1905. b) Tables météorologiques internationales. Paris. 1890; c) Wiebe. Tafeln über die Spannkraft d. Wasserdampf zwischen 76° und 101°.5. Berlin. 1904.

Digitized by Google

b) Regnault:

для $t=0^0-100^0$

$$\log p = a - b\alpha^t + c\beta^t$$

$a = 4.73993707$ $\quad \log a = 0.996725536-1$

$\log b = 0.611740767$

$\log \beta = 0.006864937$

$\log c = 0.131990711-2$

c) Magnus'a:

$$p = p_0 10^{\frac{at}{b+t}},$$

где $p_0 = 4.525$

$a = 7.4475$

$b = 234.69$

Плотность водяныхъ паровъ 0.6219.

Теплоемкость водяныхъ паровъ

при постоянномъ давленіи. . . $c_p = 0.4750$

» » объемѣ . . . $c_v = 0.3637$

отношеніе. . . $\frac{c_p}{c_v} = 1.306$

Если теплоемкость воды въ жидкомъ состояніи примемъ за единицу, то

теплоемкость льда . . . 0.502

» паровъ . . 0.475

Коэффиціентомъ внутренней теплопроводности (k) называютъ то количество тепла, которое протекаетъ, въ единицу времени черезъ единицу поверхности, по направленію къ ней перпендикулярному, если температура по этому направленію уменьшается на 1^0 на единицу длины:

	k		k
серебро	1.00000	ледъ	0.005
ртуть.	0.02000	вода	0.00130
стекло	0.00170	эфиръ.	0.00040
фланель. . . .	0.00004	водородъ. . . .	0.00040
снѣгъ	0.0005	воздухъ. . . .	0.00005

Digitized by Google

Коэффиціентъ внѣшней теплопроводности есть то количество тепла, которое теряется единицей поверхности тѣла въ единицу времени, когда избытокъ температуры тѣла относительно среды равняется 1°.

Литературныя указанія.

1) * Пространные курсы физики Хвольсона, Riecke, Winkelmann'a.

2) Wolpert. Die Luft und die Methode der Hygrometrie. Berlin.

3) Рядъ отдѣльныхъ статей въ журналахъ:

a) Zeitschrift für Meteorologie. Wien. 1868—1884.

b) Meteorologische Zeitschrift съ 1884 года.

c) Метеорологическій Вѣстникъ съ 1891 года.

d) Repertorium für Meteorologie redig. von Wild. Спб. I—XVII томы.

e) Das Wetter.

IV.

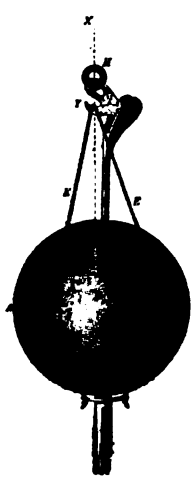
Непрерывная водная оболочка (океаны), ея распространеніе и свойства.

Океаническія глубины и методы ихъ опредѣленія. Рельефъ дна. Качество грунта океаническаго дна. Химія океановъ. Методы опредѣленія общаго содержанія солей. Опредѣленіе удѣльнаго вѣса морской воды. Содержаніе хлора. Содержаніе различныхъ солей. Распредѣленіе солености (приведенной плотности). Распредѣленіе дѣйствительной плотности. Роль солености въ физической жизни океана. Вопросъ о причинахъ солености океаническихъ водъ. Газы въ морской водѣ. Соображенія Clark'a объ общемъ составѣ атмосферы, водной оболочки и земной коры. Литературныя указанія.

Океаническія глубины и методы ихъ опредѣленія. Раньше мы разсмотрѣли распространеніе океановъ по горизонтальному направленію. Перейдемъ теперь къ изслѣдованію ихъ мощности по вертикали. Существуютъ весьма разнообразные методы изученія океаническихъ глубинъ. При глубоководныхъ

Digitized by Google

измѣреніяхъ можно попутно изучать также качество грунта, выстилающаго океаническое дно. Для этого нужно приборы для зондированія устроить такъ, чтобы они давали намъ не только глубину, но и выносили, на дневную поверхность, пробы глубиннаго грунта. Если глубина не превышаетъ 200 м., то лотомъ можетъ служить тяжелая свинцовая гиря на веревкѣ. Когда гиря достигнетъ дна, рука почувствуетъ ударъ. Для глубинъ до 1000 м. гиря должна быть тяжелѣе (50—60 кгр.). Для большихъ глубинъ трудно пользоваться лотомъ подобнаго устройства, такъ какъ 1) по толчку нельзя уже судить, достигла ли гиря дна, 2) гиря должна быть значительнаго вѣса, 3) тяжелую гирю трудно вытаскивать изъ воды. Прототипомъ приборовъ для глубоководныхъ измѣреній служитъ лотъ Брука. Онъ устроенъ такимъ образомъ, что, когда достигнетъ дна, тяжелая гиря остается на днѣ, и вытаскивается одинъ стержень. Для этого на стержень надѣвается тяжелое тѣло A, свободно скользящее вдоль стержня (фиг. 66). Къ верхней части стержня прикрѣпленъ крючекъ γ, вращающійся около оси. Тѣло A обхватывается веревками, идущими къ этому крючку, такимъ образомъ, что когда веревка натянута, крючекъ γ приподнятъ, и гиря удерживается на стержнѣ; когда же гиря достигнетъ дна, крючекъ опрокидывается, и гиря отдѣлается отъ прибора. Для того, чтобы приборъ могъ служить для поднятія образцовъ грунта, въ нижней части стержня сдѣлано углубленіе, смазанное саломъ. Лотъ опускается на фортепіанной струнѣ, наматываемой на барабанъ (т. н. машина Томсона). Черезъ каждые 100 метр. сдѣлана на струнѣ особая мѣтка; вся длина опущенной струны узнается по числу оборотовъ барабана. Первоначально гиря падаетъ быстро, затѣмъ, вслѣдствіе увеличенія тренія, скорость паденія ея уменьшается, причемъ замедленіе идетъ въ извѣстной прогрессіи. Но какъ только гиря ударится о дно, происходитъ разрывъ прогрессіи.

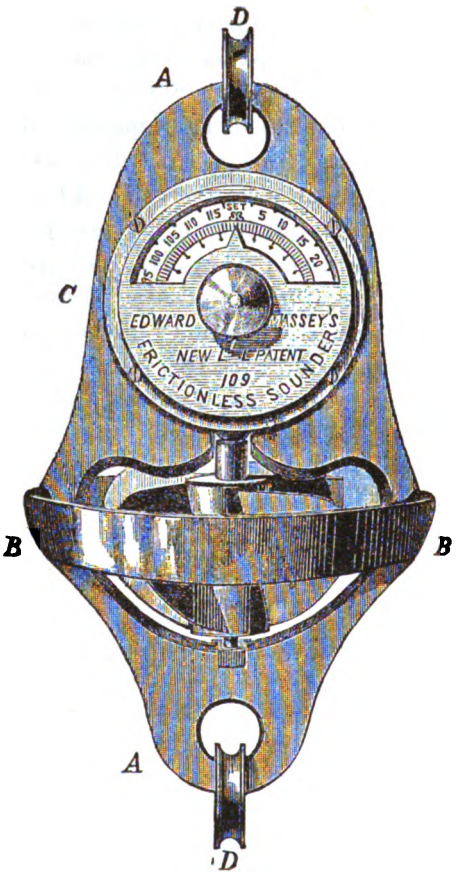


Фиг. 66.

Существуютъ и другіе, косвенные, способы опредѣленія глубины:

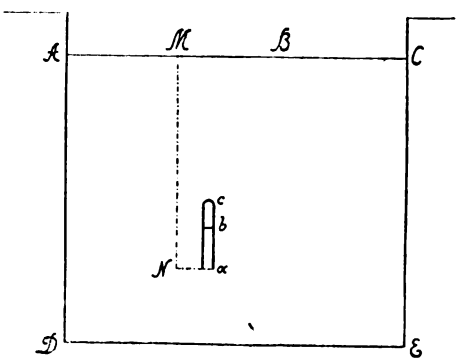
1) Способъ индикаторовъ. Въ индикаторѣ Массея, 3-хъ или

4-хъ лопастный винтъ съ приспособленнымъ къ нему счетчикомъ опускается на глубину. При движеніи вглубь, винтъ вращается и перемѣщаетъ стрѣлку прибора. При подыманіи прибора, винтъ застопоренъ и стрѣлка не перемѣщается. Если приборъ предварительно градуированъ, то, по числу оборотовъ винта, можно опредѣлить ту глубину, до которой опускался винтъ (фиг. 67).



Фиг. 67.

2) Способъ, основанный на томъ фактѣ, что давленіе съ глубиною постепенно возрастаетъ. Представимъ себѣ (фиг. 68) трубку ac, съ одного конца закрытую, внутреннее сѣченіе которой равно одной квадратн. единицѣ, а высота $ac=h$. Объемъ заключеннаго въ ней воздуха равенъ, слѣдовательно, h. Внѣшнее давленіе воздуха, измѣренное въ высотѣ водянаго столба, обозначимъ черезъ B. Опустимъ эту трубку, открытымъ концомъ внизъ, на глубину $MN=x$. Вслѣдствіе давленія столба воды MN, объемъ воздуха уменьшится и часть трубки $ab=m$ будетъ занята во-



Фиг. 68.

Digitized by Google

дою. По закону Маріотта, предполагая, что температура осталась безъ измѣненія,

$$\text{объемъ } bc : \text{объему } ac = B : (B+x-m),$$

$$\text{или} \qquad (h-m) : h = B : (B+x-m),$$

$$\text{откуда} \qquad x = \frac{m(h+B-m)}{h-m}.$$

Чтобы можно было судить о томъ, какая часть трубки на глубинѣ наполняется водой, для этого внутреннія стѣнки градуированной трубки покрыты химическимъ составомъ, обладающимъ свойствомъ измѣнять рѣзко свой цвѣтъ при соприкосновеніи съ морской водой (красный цвѣтъ хромовокислаго серебра переходитъ въ желто-зеленый). Замѣтимъ, что, при давленіи воздуха 760 мм. и средней плотности воды, давленіе одной атмосферы равно давленію столба воды высотою въ 10.0650 метр.

3) Способъ, основанный также на гидростатическомъ давленіи. Рядъ металлическихъ пустыхъ коробокъ, на подобіе анероидовъ, подвергаясь давленію воды на глубинахъ, уменьшается въ своемъ объемѣ; уменьшеніе объема, соотвѣтствующее увеличенію давленія, а слѣдовательно, глубинѣ погруженія прибора, отмѣчается на особой шкалѣ. Для той же цѣли Stahlberger примѣнялъ принципъ Бурдоновой трубки.

4) Раньше мы упоминали о замѣчательной мысли Сименса, примѣнившаго основныя положенія ученія о распредѣленіи тяжести къ измѣренію глубинъ. Но приборъ этотъ не получилъ распространенія [1]).

Упомянемъ еще объ одномъ косвенномъ способѣ опредѣленія *средней* глубины морского дна. Извѣстно, что, время отъ времени, происходятъ подводныя вулканическія изверженія и землетрясенія. Толчекъ, сообщаемый ими, передается воднымъ массамъ, которыя приходятъ въ колебательное движеніе; волны распространяются по поверхности океана съ извѣстной скоростью. Зная моментъ землетрясенія и моментъ достиженія волной извѣстнаго пункта, можно найти эту скорость по формулѣ $h=v/g$. Теоретически вычисленныя величины отлично согласуются съ дѣйствительно найденными. Такъ, глубина по направленію отъ

[1]) Подробнѣе см. параграфъ «Литературныя указанія».

Digitized by Google

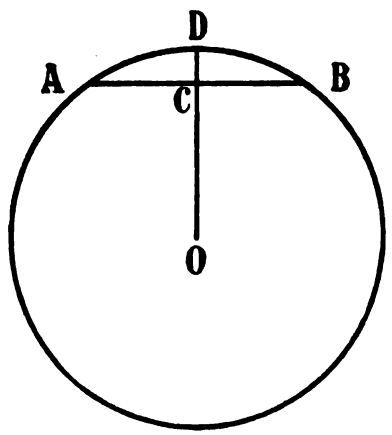
Японіи къ С.-Франциско, вычисленная на основаніи скорости волны, поднятой подводнымъ землетрясеніемъ 1854 г., равна 2365 м.; непосредственныя же измѣренія (измѣряютъ рядъ глубинъ и находятъ среднее) дали 2551 м.

Рельефъ дна. Дневная поверхность суши представляетъ гораздо большее разнообразіе, чѣмъ рельефъ дна. Подводный ландшафтъ однообразнѣе надводнаго. На дневной поверхности земли, даже въ невысокихъ горахъ, покатости составляютъ въ среднемъ отъ 10 до 15°, а въ высокихъ — отъ 30 до 40°. Въ открытыхъ частяхъ океановъ покатости дна рѣдко достигаютъ 2° и почти никогда не превышаютъ 5°. Болѣе значительныя неровности встрѣчаются вблизи вулкановъ и коралловыхъ острововъ, въ поясѣ разлома (до 7°), а также вблизи нѣкоторыхъ береговъ. Поверхность суши имѣетъ болѣе зубчатый характеръ, а поверхность океаническаго дна сглажена. Зубчатая, болѣе изрѣзанная, форма суши легко объясняется дѣйствіемъ процессовъ вывѣтриванія и размыванія, которыя отсутствуютъ на днѣ океановъ. Но если отвлечься отъ этихъ второстепенныхъ формъ рельефа, то нельзя не подмѣтить общихъ чертъ въ строеніи подводнаго и надводнаго рельефа. Эта общность указываетъ на общность силъ, участвовавшихъ въ созданіи рельефа земной поверхности, взятой въ ея цѣломъ. Для сужденія о рельефѣ суши мысленно проводятъ линіи, проходящія черезъ точки, лежащія на одной и той же высотѣ надъ уровнемъ моря; это *изогипсы*. Точно также для сужденія о рельефѣ дна, проводятъ кривыя, соединяющія точки океана, лежащія на одной и той же глубинѣ,—это *изобаты*. Сличая карты изогипсъ съ картами изобатъ, можно видѣть, что тѣ и другія тѣснятся ближе всего къ прибрежной зонѣ континентовъ; другими словами, большія глубины подходятъ къ очень крутымъ горнымъ склонамъ, какъ напримѣръ, бездны Тихаго океана и крутые склоны Андъ Южной Америки. Наиболѣе значительныя горныя системы спускаются, съ одной стороны, къ океану, а, съ другой, къ обширнымъ равнинамъ (Индійскій океанъ—Гималаи, Тибетъ, Тянь-Шань, Алтай, Сибирь, или Тихій океанъ—Сіерра Невада, Скалистыя горы. Точно также и на днѣ океановъ. Съ одной стороны, большія впадины, а съ другой—довольно ровное ложе. Очевидно, слѣдовательно, что основныя формы рельефа сложились подъ дѣйствіемъ одинаковыхъ силъ, причемъ на днѣ океановъ

Digitized by Google

сохранились главныя черты надземнаго рельефа, а именно, ассимметрія: одинъ бокъ крутой, другой—пологій.

Другая особенность рельефа океаническаго дна должна заключаться въ томъ, что наибольшія впадины и глубины находятся не по серединѣ океана, а сдвинуты къ берегамъ. Казалось-бы, что дно должно имѣть вогнутую форму; не трудно, однако, показать, что дно въ общемъ выпукло, и только въ этихъ выпуклостяхъ встрѣчаются мѣстами впадины. Возьмемъ на земной поверхности двѣ точки *A* и *B* (напр., въ Европѣ и Америкѣ) и опредѣлимъ, какова должна была бы быть глубина океана, чтобы дно отъ Европы къ Америкѣ было плоскимъ (фиг. 69). Очевидно, что, зная разстояніе по дугѣ *AB* (изъ карты), легко опредѣлить глубину *DC*. Оказывается, что дуга $ADB = 35^0$. Если произвести вычисленія, то найдемъ, что для того, чтобы дно было хотя бы плоскимъ, глубина должна быть не меньше 1000 кил. Но наибольшая глубина въ океанахъ не превышаетъ и 10 кил., слѣдовательно, въ общемъ, дно должно быть выпуклое.



Фиг. 69.

Перейдемъ къ частному обозрѣнію рельефа дна въ океанахъ. Атлантическій океанъ съ сѣверной стороны замкнутъ цѣлымъ рядомъ подводныхъ возвышенностей, идущихъ отъ Гренландіи къ Исландіи и берегамъ Европы. Въ средней части, вдоль океана, тянется гребень, находящійся на глубинѣ 2 кил. На сѣверѣ, этотъ гребень расширяется въ то подводное плато, на которомъ былъ проложенъ трансатлантическій кабель. На гребнѣ расположены острова Азорскіе, св. Елены, Вознесенія. На югѣ, онъ также расширяется и сливается съ подводнымъ плато Южнаго Ледовитаго океана. Гребень этотъ раздѣляетъ все русло Атлантическаго океана на восточное и западное. Особенно глубокія мѣста, въ видѣ отдѣльныхъ впадинъ, имѣются въ западномъ руслѣ: 1) Вестъ-Индская (8340 м., наибольшая глубина въ Атл. ок.), 2) Сѣверо-Атлантическая (6300 м.) и 3) къ западу отъ Азор-

Digitized by Google

скихъ о. (6000 м.). Въ южной части, у Бразильскихъ береговъ, впадина въ 7000 м.; въ восточномъ руслѣ, восточнѣе Азорскихъ о. въ 6000 м. Тихій ок. меридіаномъ 148°W (отъ Гринвича) дѣлится на двѣ части: 1) Въ восточной половинѣ дно на всемъ протяженіи однообразно (4—5000 м.); отличительной чертой является близость значительныхъ глубинъ у береговъ; это доказываетъ, что вдоль западныхъ береговъ Америки происходили сильные изломы земной коры, что констатируется и вулканическими изверженіями; 2) въ западной части есть впадина Тускароры (5000 м.); затѣмъ, глубина возрастаетъ къ Японскимъ и Курильскимъ о-вамъ и вблизи одного изъ нихъ доходитъ до 8515 м. Въ послѣднее время найдены еще большія глубины—до 9640 м. (12.7° с. ш., 145.8° в. д.). Индійскій ок.—однообразная впадина (3—4000 м.). Наибольшая глубина на NW отъ Новой Голландіи (6205 м.). Дно южнаго Ледовитаго ок. мало изслѣдовано; оно неглубоко и повышается къ предполагаемому Антарктическому материку. Въ Сѣверномъ Ледовитомъ ок. глубины невелики; дно представляетъ какъ бы продолженіе низменности Азіи. Впрочемъ, и здѣсь имѣются глубокія мѣста; между Гренландіей, Шпицбергеномъ и Европой находится глубокая впадина, которая, въ видѣ языка, выдается къ югу (4800 м.). На основаніи наблюденій Нансена, можно думать, что характеръ этого дна къ сѣверу нѣсколько иной: если провести параллель чрезъ Ново-Сибирскіе о-ва, то окажется, что дно здѣсь снова опускается.

Значительное разнообразіе можно замѣтить въ глубинахъ внутреннихъ морей. Средиземное море отдѣлено отъ океана мелкимъ Гибралтарскимъ проливомъ (высшая точка гребня здѣсь находится на глубинѣ 320 м.); затѣмъ начинается глубокая впадина, которая перемычкой (глубиною 324 м.), между Сициліей и Африкой, раздѣляется на два бассейна; наибольшая глубина—въ восточной части, между Мальтой и Критомъ (4406 м.). Дно Адріатическаго м., при выходѣ въ Средиземное, находится на глубинѣ 1580 м.; въ сѣверной части дно мелко. Проливы Дарданельскій и Константинопольскій мелководны (100 м.). Въ Мраморномъ морѣ есть глубины до 1500 м. Черное море представляетъ котловину, большая ось которой идетъ отъ Константинополя къ Новороссійску; посрединѣ оси наибольшая глубина достигаетъ 2244 м. Керченскій пр. и Азовское м. мелководны.

Digitized by Google

Нѣмецкое м. мелководно; у береговъ Скандинавіи оно достигаетъ глубины 850 м. Еще болѣе мелководны проливы, ведущіе къ Балтійскому морю и самое море (300—500 м.). Слѣдующія числа даютъ среднюю и наибольшую глубину:

	Средняя глуб.	Наибольшая глуб.	Широта	Долгота
Тихій ок.	4083 м.	9640 м.	12.7°N	145.8E
Атлантическій	3763	8340	19.6 N	64.4W
Индійскій	3654	6205	11.4 S	116.8E
Сѣв. Ледовитый	818?	4845	78.1 N	2.5W
Карибское м.	2664	6270	19.0 N	81.2W
Средиземное	1612	4400	35.8 N	21.8E
Черное	1116	2244	42.9 N	33 3E
Всѣ океаны	3496	9640	12.7 N	145.8E

Какъ видно, Тихому океану принадлежитъ первое мѣсто какъ по протяженію, такъ и по средней и наибольшей глубинѣ.

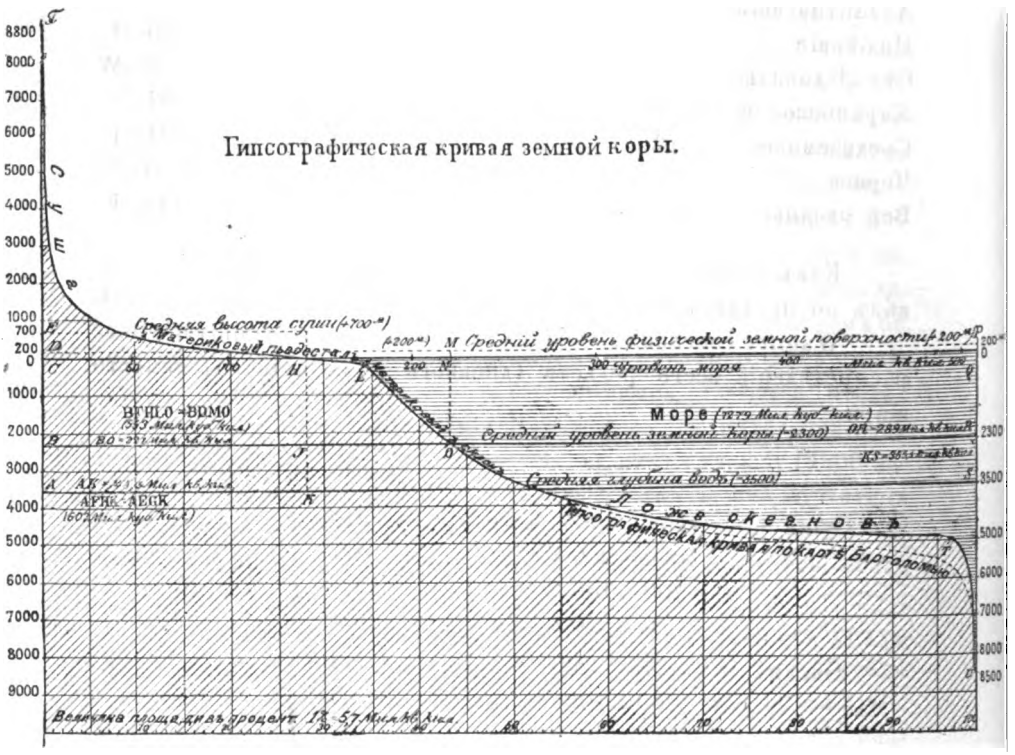
Wagner составилъ таблицу, наглядно показывающую общее распредѣленіе всего рельефа (дневного и подводнаго) земного шара.

	Ступени		Площадь въ % всей земной поверхности	
Суша . .	выше 2000	метровъ	2.0%	28.3%
	1000—2000	»	4.0	
	200—1000	»	12.3	
	0— 200	»	10.0	
Океанъ .	0— 200	»	6.0	71.7%
	200—1000	»	3.2	
	1000—2000	»	4.0	
	2000—3000	»	6.5	
	3000—4000	»	13.0	
	4000—5000	»	36.0	
	5000—6000	»	12.1	
	глубже 6000	»	0.9	

Изъ этой таблицы видно, что на сушѣ малыя высоты (отъ 0 до 1000 метровъ) занимаютъ почти $^6/_7$ всей ея поверхности; въ океанахъ же преобладаютъ по протяженію глубины отъ 3 до 5000 метровъ (49%). На основаніи этихъ чиселъ, можно

Digitized by Google

вычертить, такъ называемую, гипсографическую кривую, представляющую средній профиль земной коры (фиг. 70). Для этого, на одной изъ осей откладываютъ равныя части, выражающія высоту и глубину, а на перпендикулярахъ—площадь въ $^0/_0$, занятую соотвѣтствующими ступенями; оконечности перпендикуляровъ соединяютъ непрерывной кривой. Изъ этой кривой видно, между



Фиг. 70.

прочимъ, что приходъ суши во время отступанія моря меньше, чѣмъ ея расходъ (затопленіе) въ періодъ трансгрессіи. Всю сушу отъ кульминаціонной точки *F*, лежащей на высотѣ 8841 метра, до средней глубины океана (3496 м.) Wagner называетъ *материковымъ островомъ*. Если этотъ островъ срѣзать и распредѣлить равномѣрно по всей земной поверхности, то полученная такимъ образомъ поверхность называется *среднимъ уровнемъ*

Digitized by Google

земной коры. Она лежитъ, какъ мы видѣли раньше, на глубинѣ 2300 м. ниже средняго уровня океановъ. Вся масса водъ будетъ подыматься надъ этимъ среднимъ уровнемъ коры на 2300 метровъ. Что касается материковъ, то (по Penck'у) средняя и наибольшая ихъ высота слѣдующая:

	средняя	наиб.
Европа. . . .	320 м.	4810 м. (Монбланъ)
Азія.	980 »	8841 » (Гауризанкаръ)
Африка . . .	670 »	5700 » (Килиманджара)
Сѣв. Америка .	730 »	7564 » (Саорта въ Боливіи)
Южн. Америка.	590 »	
Австралія. . .	360 »	2187 » (гора Костюшко).

Такимъ образомъ, земной рельефъ, на основаніи современныхъ данныхъ, колеблется отъ 8841 метра до—9640, т. е. въ предѣлахъ 18481 м.=18.4810 километра. По Krümmel'ю, вѣсъ всей суши и всей воды, лежащихъ выше средняго дна океановъ взаимно уравновѣшиваются.

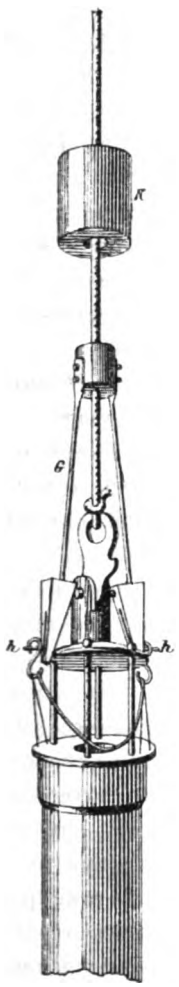
Качество грунта океаническаго дна. Дно океановъ выложено продуктами неорганическими, а также, остатками органической жизни. Неорганическіе продукты являются результатомъ разрушенія горныхъ породъ, образующихъ берега, а слѣдовательно, видоизмѣняются при переходѣ отъ одного мѣста къ другому. Береговые матеріалы располагаются сообразно степени ихъ размельчанія. Болѣе крупныя части отлагаются ближе; далѣе располагается мелкій песокъ, еще далѣе мельчайшія частицы, которыя, въ смѣси съ глиной, образуютъ береговой илъ. Огромное количество взвѣшеннаго неорганическаго вещества несутъ рѣки, образуя иногда большіе наносы противъ своихъ устьевъ. Къ категоріи неорганическихъ отложеній слѣдуетъ отнести продукты подводной вулканической дѣятельности, а также пыль, постепенно осаждающуюся изъ атмосферы и медленно падающую на дно. Эта пыль состоитъ изъ мельчайшихъ частицъ, выброшенныхъ вулканами и подхваченныхъ верхними теченіями, а также частицъ, поднятыхъ вѣтрами съ поверхности пустынь. Наконецъ, анализъ доказалъ, въ океаническомъ илѣ, присутствіе частицъ, несомнѣнно, космическаго происхожденія. Но, рядомъ съ этимъ, въ океанахъ совершается

Digitized by Google

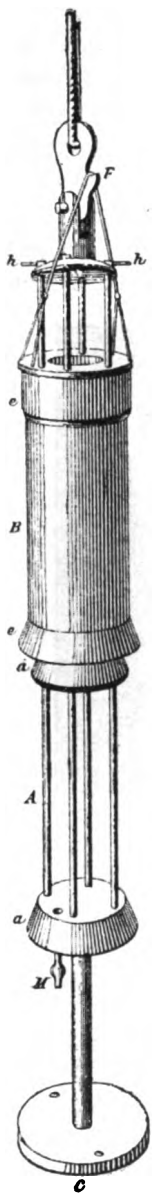
интенсивная органическая жизнь на различныхъ ея ступеняхъ. Организмы умираютъ и нерастворимые остатки ихъ непрерывно падаютъ на дно, образуя, съ теченіемъ времени, болѣе или менѣе мощныя отложенія. Особенно обильный матеріалъ даютъ низшіе, какъ растительные такъ и животные, организмы. Къ органическимъ отложеніямъ слѣдуетъ отнести также коралловый илъ вблизи коралловыхъ острововъ.

Существуетъ три главныхъ вида ила органическаго происхожденія: *глобигериновый илъ*, въ которомъ преобладаютъ известковыя раковины глобигеринъ изъ класса корненожекъ. Его цвѣтъ молочно-бѣлый, желтоватый, буроватый или розоватый, что зависитъ отъ большей или меньшей примѣси окисловъ желѣза и марганца. Эти корненожки живутъ въ болѣе теплыхъ верхнихъ слояхъ океановъ и слѣдуютъ за теплыми теченіями. Остатки ихъ, падая на дно, подвергаются разложенію подъ дѣйствіемъ углекислоты океаническихъ водъ; вслѣдствіе этого, глобигериновые остатки не достигаютъ большихъ глубинъ и выстилаютъ дно не глубже 4000—5000 метровъ. Этотъ илъ имѣетъ самое большое распространеніе въ Атлантическомъ океанѣ, въ западной и сѣверной частяхъ Индійскаго и въ моряхъ Полинезіи. Дно южнаго Индійскаго океана покрыто кремнистыми остатками *діатомей*. Большое распространеніе имѣетъ также илъ, состоящій изъ кремнистыхъ остатковъ *радіолярій*. Отложенія этого ила встрѣчаются, на глубинахъ отъ 4200 до 8200 метровъ, въ западной и средней частяхъ Тихаго океана, а также въ Малайскомъ архипелагѣ. Наиболѣе глубокія впадины океановъ выложены *красной глиной*. Въ Атлантическомъ океанѣ она встрѣчается, начиная съ глубины 4500 метровъ. По мнѣнію Муррея, красная глина представляетъ результатъ разложенія рыхлыхъ продуктовъ подводныхъ вулканическихъ изверженій. Совершенно неизвѣстна мощность всѣхъ этихъ отложеній, выстилающихъ океаническое дно. Но, принимая во вниманіе, что процессъ осажденія поддерживается въ теченіе геологическихъ періодовъ, можно думать, что эти отложенія достигли уже значительной толщины. Въ внутреннихъ моряхъ качество грунта довольно разнообразно. Въ Средиземномъ морѣ преобладаютъ прибрежныя отложенія и рѣчные наносы; въ нѣкоторыхъ мѣстахъ попадаются коралловые остатки и илъ глобигеринъ. Въ Нѣмецкомъ и Балтійскомъ моряхъ — песокъ и илъ, а также твердая

Digitized by Google



Фиг. 71.



Фиг. 72.

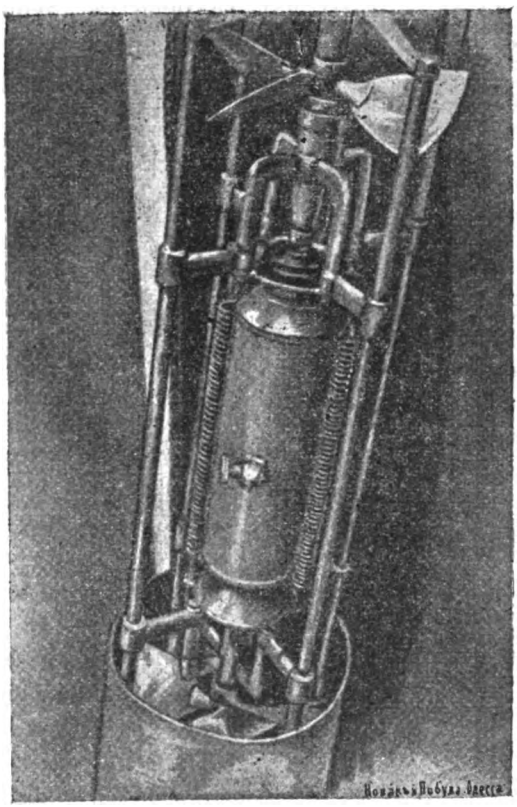
глина. Въ Черномъ морѣ—синевато-сѣрый илъ нерѣдко съ черной поверхностью [1]).

Химія океановъ. Вода океановъ и морей содержитъ въ растворѣ многія химическія соединенія. Для изученія химическаго состава океаническихъ водъ, обыкновенно, поднимаютъ пробы воды изъ различныхъ глубинъ при помощи приборовъ, которые вообще называютъ *батометрами*. Всякій батометръ долженъ быть устроенъ такъ, чтобы онъ доставлялъ пробу воды изъ опредѣленной и желаемой глубины. Эта цѣль можетъ быть достигнута различными путями. Батометръ, во время опусканія, остается закрытымъ; на опредѣленной глубинѣ онъ открывается и наполняется водою; взятая проба автоматически отдѣляется отъ сообщенія съ остальной массой воды. Въ батометрахъ другихъ системъ, приборъ все время остается открытымъ; вода свободно циркулируетъ въ немъ во все время опусканія. Но въ извѣстный моментъ, по желанію наблюдателя, клапанъ или втулка прибора закрываются, и проба воды, находящаяся въ моментъ закрытія клапановъ, доставляется на дневную поверхность. Примѣромъ можетъ служить батометръ

[1]) Подробнѣе о качествѣ океаническаго грунта см. Thoulet. L'Océan, ses lois et ses problèmes. Paris. 1904. Общедоступная статья Павлова: Морское дно. Москва.

Digitized by Google

Мейера. На фиг. 72 представленъ батометръ въ періодъ его погруженія, а на фиг. 71 — опущенный на данную глубину. Существуетъ огромное разнообразіе подобныхъ приборовъ, подробное описаніе которыхъ можно найти въ указанныхъ ниже курсахъ гидрографіи, а также въ результатахъ экспедиціи Challenger'a (Report of the scientific results of the Voyage of the M. S. Challenger. Vol. I), въ журналахъ «Annalen der Hydrographie und Maritimen Meteorologie», въ трудахъ нѣмецкихъ ученыхъ по изслѣдованію Нѣмецкаго и Балтійскаго морей, «Запискахъ по Гидрографіи» и проч. Мы остановимся только, возможно кратко, на приборѣ Вилля, видоизмѣненномъ механикомъ Тимченко.



Фиг. 73.

Батометръ Вилль-Тимченко (фиг. 73) состоитъ изъ полаго мѣднаго, бочкообразной формы, цилиндра съ двумя отверстіями на верхнемъ и нижнемъ концахъ; отверстія эти окружены коническими воронками, устроенными для возможно быстраго обмѣна воды во время опусканія батометра. Тамъ же находятся два запорныхъ клапана, снабженныхъ винтовыми гайками, вращающимися въ одну и другую сторону гребными пароходными лопастями. Во время опусканія батометра, лопасти открываютъ клапаны (ихъ можно открыть и передъ опусканіемъ). Когда клапаны достаточно откры-

Digitized by Google

лись, то они, посредствомъ стопорныхъ штифтовъ, прекращаютъ дальнѣйшее вращеніе лопастей и предупреждаютъ заѣданіе винтовой гайки, благодаря чему, клапаны, при обратномъ движеніи прибора, сразу запираютъ отверстія. Когда приборъ придетъ на бортъ судна, его кладутъ въ горизонтальномъ положеніи выпускнымъ краномъ внизъ, черезъ который выливается вода въ сосуды; окошечко (со стекломъ) даетъ возможность наблюдать собравшіеся внутри газы. Весь приборъ помѣщенъ между четырьмя скрѣпляющими штангами, связанными между собою перекладинами; винты прикрыты цилиндрическими кожухами. Весь приборъ опускается на линѣ, который прикрѣпляется къ кольцу. Приборъ вѣситъ около 60 фунтовъ и приноситъ около $5^1/_2$ литровъ воды. Для того, чтобы клапаны закрылись, прибору нужно пройти около $2^1/_2$ саженъ.

Методы опредѣленія общаго содержанія солей. Общее количество солей, содержащихся въ морской водѣ, можно опредѣлить непосредственно путемъ *выпариванія*. Выпариваютъ опредѣленное вѣсовое количество морской воды и взвѣшиваютъ, возможно точнѣе, сухой остатокъ. Отношеніе вѣсовъ, умноженное на 100, дастъ процентное содержаніе солей. Но этотъ способъ требуетъ много времени, а потому, для бѣглыхъ наблюденій во время экспедицій, могутъ быть примѣняемы другіе пріемы. Нѣсколько ниже мы увидимъ, что хотя общее содержаніе солей океаническихъ водъ подвержено нѣкоторымъ колебаніямъ, но относительное процентное ихъ содержаніе измѣняется въ малыхъ предѣлахъ. Отсюда естественно вытекаютъ два слѣдствія. Съ увеличеніемъ количества солей увеличивается вообще удѣльный вѣсъ воды; но такъ какъ *относительное* содержаніе солей остается приблизительно постояннымъ, то между общимъ содержаніемъ солей и удѣльнымъ вѣсомъ морской воды должна существовать извѣстная аналитическая зависимость, форму которой можно найти изъ наблюденій. На этомъ основаніи, опредѣленіе общаго содержанія солей сводится къ опредѣленію удѣльнаго вѣса испытуемой пробы морской воды. Но приблизительное постоянство состава морской воды приводитъ насъ и къ другому методу. Если различныя тѣла входятъ въ составъ воды въ приблизительно постоянномъ отношеніи, то между общимъ содержаніемъ солей и количествомъ одного какого-либо элемента должно также существовать извѣстное соотношеніе. Въ основу

Digitized by Google

принимаютъ содержаніе хлора и опредѣляютъ, такъ называемый, *хлорный коэффиціентъ*, т. е. соотношеніе между общимъ содержаніемъ солей и содержаніемъ хлора.

Опредѣленіе удѣльнаго вѣса морской воды. Удѣльный вѣсъ морской воды можно опредѣлить при помощи ареометровъ Весьма удобны также для этой цѣли вѣсы Моора. Наиболѣе совершенные стеклянные ареометры изготовляются Кюхлеромъ въ Килѣ. Приборъ состоитъ изъ набора пяти или десяти ареометровъ съ дѣленіями на шкалѣ. Дѣленія нанесены, принимая за единицу плотность дистиллированной воды при 17°.5 и отнесены также къ температурѣ 17°.5. При помощи набора изъ пяти ареометровъ можно отсчитывать плотность съ точностью до 0.0001; при наборѣ изъ 10 ареометровъ точность на глазъ достигаетъ 0.00005. Ареометры погружаются въ высокій цилиндръ, содержащій испытуемую пробу воды и чувствительный термометръ. Но удѣльный вѣсъ воды зависитъ не только отъ содержанія соли, но и отъ температуры ея. Необходимо, поэтому, приводить измѣренный ареометромъ удѣльный вѣсъ къ опредѣленной температурѣ. Въ Англіи, всѣ удѣльные вѣса приводятъ къ температурѣ $60^0\ F = 15^0.56\ C$ и за единицу принимаютъ удѣльный вѣсъ воды при 4° Ц. Результатъ измѣреній сопровождаютъ символомъ $S\frac{15.56}{4}$. Въ Германіи, удѣльный вѣсъ приводятъ къ 17°.5, а за единицу принимаютъ удѣльный вѣсъ дистиллированной воды при 17°.5. Эту норму отмѣчаютъ знакомъ $S\frac{17.5}{17.5}$. Приведеніе къ этимъ нормамъ можно сдѣлать путемъ вычисленія или при помощи особыхъ таблицъ. Въ этомъ отношеніи особаго вниманія заслуживаютъ таблицы Knudsen'a (Hydrographische Tabellen. Hamburg. 1901). Для опредѣленія удѣльнаго вѣса, опускаютъ ареометръ въ стаканъ, наполненный испытуемой пробой воды, и даютъ температурѣ достигнуть стаціонарнаго состоянія. Затѣмъ, отсчитываютъ показаніе ареометра и термометра. Обозначимъ удѣльный вѣсъ, приведенный къ нормѣ, черезъ $S\frac{t_1}{t_1'}$, соленость въ 100 вѣсовыхъ частяхъ воды черезъ $S\frac{0}{00}$ и положимъ, что

$$\left(S\frac{t_1}{t_1'} - 1\right) 1000 = \varrho_{t_1}.$$

Digitized by Google

Тогда зависимость между удѣльнымъ вѣсомъ и общей соленостью выразится слѣдующимъ образомъ:

1) если $t_1=60^0$ $F=15.^056$ C, а $t_1'=4^0$ C,

то

$$S\frac{0}{00}=1.35\varrho_{15.56}.$$

2) Если $t_1=17^0.5$ и $t_1'=17^0.5$,

то

$$S\frac{0}{00}=1.31\varrho_{17.5},$$

а по таблицамъ Knudsen'a

$$S\frac{0}{00}=1.309\varrho_{17.5}.$$

По даннымъ Лебединцева, коэффиціентъ пропорціональности имѣетъ другое значеніе для нашихъ внутреннихъ морей:

для Чернаго моря . . .	1.314,
» Азовскаго моря. . .	1.261,
» Каспійскаго моря . .	1.205.

Содержаніе хлора. Содержаніе хлора опредѣляется титрованіемъ, чаще всего по способу Мора. Способъ этотъ основанъ на томъ, что хлоръ выдѣляется изъ морской воды растворомъ азотнокислаго серебра. Азотнокислое серебро осаждаетъ изъ данной пробы хлоръ въ видѣ бѣлаго нерастворимаго хлористаго серебра. Нужно только умѣть опредѣлить тотъ моментъ, когда процессъ образованія хлористаго серебра вполнѣ законченъ, т. е. когда весь хлоръ вступилъ въ соединеніе. Для этого, въ морской водѣ прибавляютъ небольшое количество раствора средняго хромоваго кали. Въ тотъ моментъ, когда весь хлоръ выдѣлился, прибавка этого раствора даетъ явственную красноватую окраску. Въ виду этого, необходимо приготовить заранѣе титръ, т. е. такой растворъ азотнокислаго серебра въ 1 литрѣ дистиллированной воды, чтобы одинъ кубическій сантиметръ былъ достаточенъ для выдѣленія, напримѣръ, 0.01 грамма хлора; а для этого необходимо въ литрѣ дистиллированной воды растворить 47.887 грамма азотнокислаго серебра и часть ра-

Digitized by Google

створа влить въ градуированную пипетку, раздѣленную на сотыя доли куб. сантиметра. Въ особый стаканчикъ наливаютъ, положимъ, 10 куб. сантиметровъ морской воды и нѣсколько капель раствора средней хромовой соли калія. Въ этотъ стаканчикъ, приливаютъ титръ и сильно взбалтываютъ до появленія краснаго цвѣта. Если, при этомъ, пришлось прибавить 20 куб. сантиметровъ раствора, то взятая проба содержитъ $0.01 \times 20 = 0.2$ грамм. хлора въ 10 куб. сантиметрахъ или 20 граммовъ въ литрѣ воды. При этомъ опредѣляютъ температуру титра и пробы и, при помощи особыхъ таблицъ, приводятъ къ какой-либо условной температурѣ.

Если количество хлора опредѣлено, то нетрудно опредѣлить соленость по формулѣ

$$\frac{S}{Cl} = a.$$

Для хлорнаго коэффиціента a найдены слѣдующія значенія:

Forchhammer . . .	1.807
Dittmar	1.8058
Thornoë	1.809
Среднее	1.807

Для внутреннихъ морей:

Балтійское море . . .	1.84
Черное » . . .	1.656
Азовское » . . .	1.844
Каспійское » . . .	2.390

Въ таблицахъ Knudsen'a можно прямо найти величину $S^0/_{00}$, при разныхъ содержаніяхъ хлора въ 1000 граммахъ морской воды. Тамъ же находимъ также соотвѣтствующія величины для $S_{17.5}$ и $\sigma_0 = (s_0 - 1)1000$, гдѣ s_0—удѣльный вѣсъ морской воды при 0^0 по отношенію къ дистиллированной водѣ при 4^0, т. е. значеніе символа $S\frac{0}{4}$.

Содержаніе различныхъ солей. Въ общемъ, въ составѣ океаническихъ водъ найдено до настоящаго времени до 32 изъ числа извѣстныхъ намъ простыхъ тѣлъ. Приведемъ здѣсь анализы Dittmar'a 77 образцовъ океаническихъ водъ, собранныхъ во время экспедиціи Challenger'a. На основаніи этихъ анали-

Digitized by Google

зовъ, Dittmar считаетъ наиболѣе вѣроятнымъ слѣдующій составъ океаническихъ солей:

хлористый натрій	77.758%
» магній	10.878
сульфаты магнія.	4.737
» извести	3.600
» калія	2.465
бромистый магній	0.217
карбонаты извести и проч.	0.345
	100.000

Составъ воды внутреннихъ морей нѣсколько отличенъ отъ состава океаническихъ водъ, потому что рѣки доставляютъ много сѣрнокислыхъ и углекислыхъ солей, какъ напримѣръ, въ Черномъ и Азовскомъ моряхъ. Вліяніемъ рѣчной воды объясняется значительная разница въ величинѣ коэффиціентовъ этихъ морей.

Запасъ соли въ океанахъ таковъ, что если бы вся вода испарилась, то образовался бы слой соли толщиною въ 55 метровъ.

Распредѣленіе солености (приведенной плотности). Разсмотримъ теперь распредѣленіе солености или, что все равно, приведенной плотности (распредѣленіе символа $S\frac{15^{0}.56}{4^{0}}$), а также дѣйствительной плотности по горизонтальному и вертикальному направленіямъ. Матеріаломъ для этого обозрѣнія могутъ служить работы Buchanan'a, на основаніи наблюденій Challenger'a, а также карты, изданныя Гамбургской «Deutsche Seewarte» (Atlantischer Ocean, Stiller Ocean), атласы Berghaus'a «Physikalischer Atlas» и Bartholomy «Physical. Atlas» Vol. III, Atlas de météorologie maritime и др. Соленость океаническихъ водъ колеблется въ небольшихъ предѣлахъ. Въ общемъ среднемъ она равна 3.5%. Но существуютъ условія въ одномъ мѣстѣ повышающія, въ другомъ понижающія соленость. Всѣ тѣ обстоятельства, которыя увеличиваютъ приходъ прѣсной воды, уменьшаютъ соленость. Источниками прѣсной воды могутъ быть атмосферическіе осадки, притокъ водъ изъ рѣкъ, вода, получаемая отъ таянія льдовъ. Съ другой стороны, концентрація увеличивается при усиленіи испаренія. Испаренію способствуютъ, какъ намъ извѣстно, вы-

Digitized by Google

сокая температура, пониженная относительная влажность; нѣ которую роль въ распредѣленіи солености играютъ теченія, которыя, подобно Гольфштрему, могутъ уносить соленую воду тропиковъ въ болѣе высокія широты. На этомъ основаніи, мы вправѣ ожидать, что въ поясѣ затишья встрѣтимъ пониженную соленость. Затѣмъ, соленость должна увеличиться въ области пассатовъ, особенно, на крайнихъ ихъ предѣлахъ, гдѣ вѣтеръ дуетъ съ наибольшимъ постоянствомъ. Внѣ тропиковъ, температура постепенно понижается, испареніе уменьшается, количество осадковъ къ умѣренному поясу увеличивается; всѣ эти обстоятельства должны опять уменьшить соленость или приведенную плотность. И дѣйствительно, наблюденія показали слѣдующее распредѣленіе (см. карты изогалинъ Шотта): 1) По обѣ стороны экватора расположены, на окраинахъ тропиковъ, зоны максимальной солености. Соленость въ Атлантическомъ океанѣ достигаетъ 3.79%, а въ Тихомъ—3.59%. 2) Эти максимумы солености раздѣлены экваторіальной полосой уменьшенной солености (до 3.4%), наиболѣе выраженной въ восточныхъ частяхъ океановъ. По мнѣнію Шотта, уменьшеніе солености въ этой полосѣ зависитъ отъ уменьшенія силы вѣтра. 3) Внѣ тропиковъ соленость постепенно убываетъ; это уменьшеніе идетъ правильнѣе въ южномъ полушаріи. Въ Ледовитомъ океанѣ, на крайнемъ сѣверѣ, найдена соленость 3.0% и даже 2.8%. Вліяніе льдовъ обнаруживается, на картѣ Шотта, у Ньюфаундленда, у западныхъ береговъ Гренландіи (2.81%) и на сѣверѣ Берингова пролива (2.01%); вліяніе рѣкъ замѣтно у сѣверныхъ береговъ Ледовитаго океана (менѣе 1.0%). Общее распредѣленіе солености можно видѣть на фиг. 74, представляющей распредѣленіе солености по Schott'y.

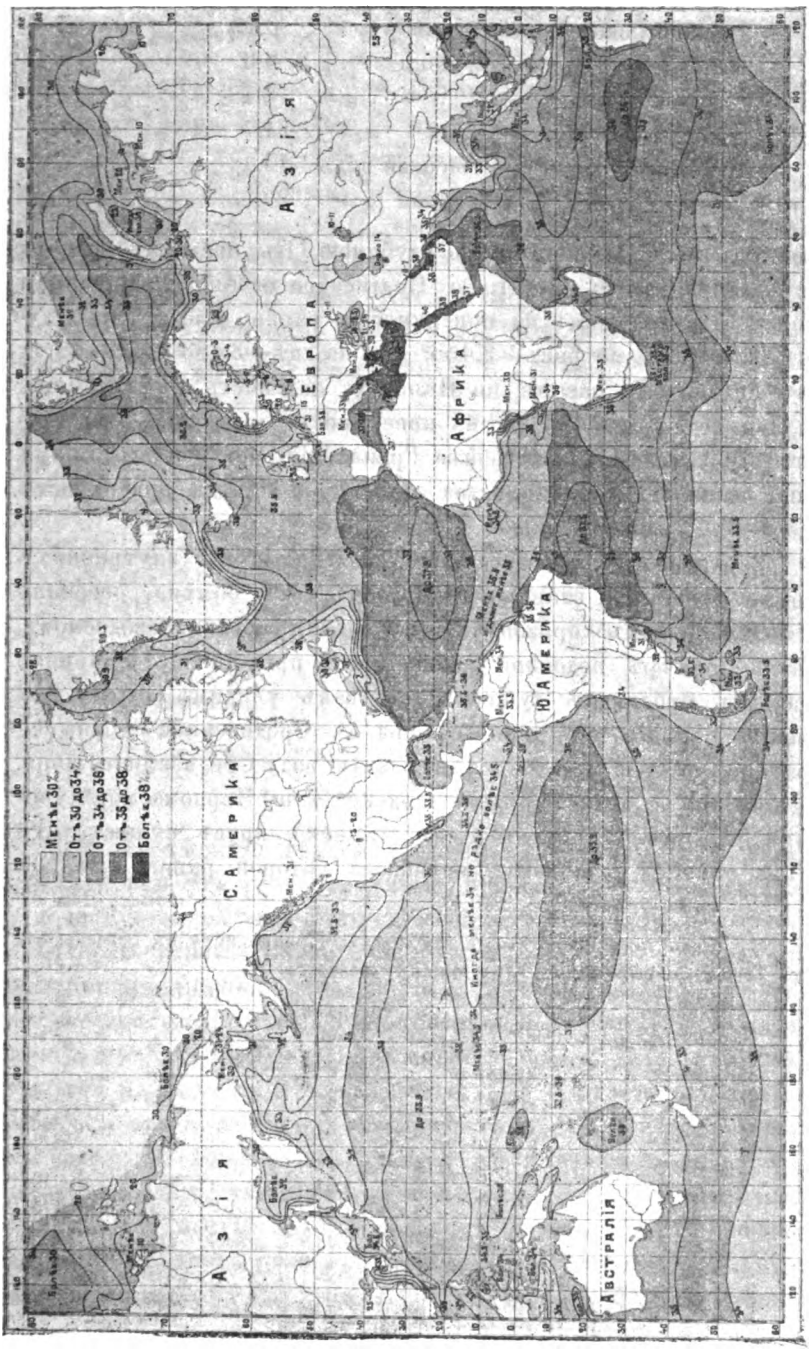
Еще рѣзче видно вліяніе указанныхъ факторовъ на соленость во внутреннихъ моряхъ. Къ числу морей, въ которыхъ можно ожидать увеличенія солености, слѣдуетъ отнести:

Средиземное море, въ которомъ соленость равна 3.7—3.8%
Красное » » » » » 4%

Напротивъ того, соленость уменьшена:

въ Черномъ морѣ . . . . . 1.6—1.8%
» Балтійскомъ (на югѣ) . . 1.3
» Ботническомъ заливѣ. . . 0.3

Digitized by Google



Фиг. 74.

Digitized by Google

Соленость въ нѣкоторыхъ замкнутыхъ водоемахъ:

Каспійское море на сѣверѣ . .	0.7%
» » » югѣ . . .	1.3
Карабугазъ	16.4
Мертвое море	21.7
Соленое озеро при высокой водѣ .	13.4
» » » низкой » .	22.3.

Соленость мало измѣняется съ глубиною. Въ среднемъ выводѣ для Атлантическаго, Тихаго и Индійскаго океановъ, Buchanan нашелъ, что соленость на поверхности равна 3.537%, на глубинѣ 800—1600 метровъ—3.456%, а на днѣ—3.483%. Въ сѣверномъ Ледовитомъ океанѣ, по Нансену, соленость съ глубиною увеличивается отъ 2.123% на поверхности до 3.527% на глубинѣ 3000 метровъ. Восточнѣе Гренландіи, по изслѣдованіямъ Мона, соленость увеличивается отъ 3.0—3.3% на поверхности до 3.3—3.4% на днѣ.

Вертикальное распредѣленіе солености въ внутреннихъ моряхъ зависитъ, главнымъ образомъ, отъ обмѣна, особенно въ болѣе низкихъ горизонтахъ, съ водами сосѣднихъ водоемовъ. Рѣзкій примѣръ подобной зависимости представляетъ Черное море. Въ проливахъ существуетъ, какъ увидимъ далѣе, два теченія: верхнее изъ Чернаго моря въ Средиземное и нижнее обратное, которое несетъ болѣе соленую воду Средиземнаго моря. Подъ вліяніемъ этого притока, соленость въ Черномъ морѣ увеличивается съ глубиною и въ нижнемъ ярусѣ существуетъ весьма мощный слой воды, соленость которой равна 2.24% [1]).

[1]) Соленость на различныхъ глубинахъ Чернаго моря въ іюнѣ и августѣ 1890 года выразилась слѣдующими числами:

глубина въ метрахъ	температура	содержаніе соли	плотность $S\frac{4}{4}$
0	22.03	1.81%	1.0114
9.1	21.9	1.81	115
18.3	17.6	1.81	125
27.5	13.6	1.83	135
45.7	7.5	1.81	141
91.4	7.2	1.91	150
18.3	8.7	2.14	164
36.6	8.9	2.20	170
1646	9.1	2.24	173

Digitized by Google

На днѣ Средиземнаго моря соленость равна 3.86%, а на днѣ Мраморнаго 3.84%. Точно также соленость глубинныхъ водъ Балтійскаго моря увеличивается вслѣдствіе притока болѣе соленыхъ водъ Нѣмецкаго моря. Совершенно особнякомъ стоитъ Каспійское море, которое въ предшествовавшія геологическія эпохи входило въ составъ открытаго моря, соединеннаго съ одной стороны съ Чернымъ и Азовскимъ морями, а съ другой,— съ Ледовитымъ океаномъ. Соленость его вблизи устьевъ Волги и Урала равняется 0.7%, а въ южныхъ частяхъ— 1.3%. Но соотношеніе солей въ водѣ Каспійскаго моря иное, чѣмъ въ океанахъ, какъ это видно изъ анализа воды, взятой въ восточной части, вблизи входа въ Карабугазъ:

$NaCl$.. . . .	62.76
$MgSO_4$ . . .	23.64
$MgCl_2$ . . .	4.03
$CaSO_4$ . . .	6.99
$MgBr_2$ . . .	0.07
KCl / $CaCO_3$ . . .	2.51

Вода эта имѣетъ:

соленость	1.265%
удѣл. вѣсъ при 17°.5 .	1.0104

Распредѣленіе дѣйствительной плотности. До сихъ поръ мы говорили объ удѣльномъ вѣсѣ, приведенномъ къ извѣстной условной температурѣ. Эти удѣльные вѣса, или иначе *приведенныя* плотности, характеризуютъ собственно *соленость* морской воды и измѣняются всякій разъ съ ея измѣненіемъ. Между тѣмъ, въ физической жизни океановъ, особенно въ механизмѣ ихъ движеній, имѣетъ преобладающее значеніе распредѣленіе *дѣйствительной* плотности. Эта дѣйствительная плотность въ данномъ мѣстѣ и въ данное время зависитъ отъ температуры воды и ея солености. Повышеніе температуры уменьшаетъ плотность; напротивъ того, увеличеніе процентнаго содержанія соли увеличиваетъ плотность. Такимъ образомъ, дѣйствительная плотность въ данномъ мѣстѣ является результатомъ взаимодѣйствія этихъ двухъ факторовъ. Дѣйствительной плотностью будемъ называть

Digitized by Google

удѣльный вѣсъ воды, приведенный къ наблюдаемой температурѣ моря, отнесенный къ плотности дистиллированной воды при 4° и при давленіи одной атмосферы. Символическое обозначеніе плотности будетъ $\left(S\frac{t^0}{4^0}\right)$. Но если проба взята на глубинѣ h, то нужно еще принять во вниманіе давленіе на этой глубинѣ и сжимаемость воды. Приведеніе, въ этомъ случаѣ, можетъ быть сдѣлано по пріему, указанному Mohn'омъ. Если S_0 есть плотность при нормальномъ давленіи атмосферы $\left(\text{т. е. } S_0=S\frac{t^0}{4^0}\right)$, p—давленіе атмосферы на глубинѣ h, μ—коэффиціентъ сжимаемости воды, то, при давленіи p и на глубинѣ h, плотность

$$S_h^* = S_0 \frac{1}{1-\mu p}.$$

Въ книгѣ Шпиндлера «Лекціи Физической географіи» дана слѣдующая таблица для коэффиціента $\frac{1}{1-\mu p}$ на различныхъ глубинахъ:

въ саж.	$\frac{1}{1-\mu p}$	въ саж.	$\frac{1}{1-\mu p}$
10	1.00008	70	1.00058
20	1.00016	80	1.00067
30	1.00025	90	1.00075
40	1.00033	100	1.00084
50	1.00042	200	1.00169
60	1.00050	1000	1.00846

Давленіе одной сажени морской воды равно

$$\frac{1.82876694}{13.595} \cdot \frac{S}{0.76} = 0.1769851\, S \text{ атмосферы},$$

гдѣ 0.76 м. давленіе одной атмосферы при 0°, подъ 45° ш. и на уровнѣ моря,

» 13.595—уд. вѣсъ ртути при 0°,

» 1.82876694—величина морской саженп въ метрахъ,

» S—плотность морской воды на уровнѣ моря и подъ 45° ш.

Digitized by Google

Давленіе на глубинѣ h можно вычислить по формулѣ, данной Mohn'омъ

$$p = a_0 s_0 \frac{1 + \frac{1}{2} b H_\varphi}{1 - \frac{1}{2}\beta p} H \text{ (атмосфер.)},$$

гдѣ p—давленіе на глубинѣ H_φ,

» s_0—средняя плотность воды на поверхности,

» $b = 0.00000041693$,

» $\beta = 0.000046$,

» $a_0 = 0.1860851$,

» H_φ—данная глубина,

» H—глубина той же поверхности уровня подъ 45° широты.

Что касается глубины поверхностей одинаковаго уровня въ различныхъ широтахъ, то онѣ даны въ слѣдующей таблицѣ[1]):

$\varphi = 45°$	$\varphi = 60°$	$\varphi = 70°$	$\varphi = 80°$
$h =$ 100 саж	99.87 саж.	99.80 саж.	99.76 саж.
500 »	499.35 »	499.01 »	498.78 »
1000 »	998.71 »	998.02 »	997.57 »
1500 »	1498.06 »	1497.03 »	1496.35 »
2000 »	1997.41 »	1996.03 »	1995.14 »

Средняя плотность $\left(S\frac{t^0}{4^0}\right)$ по параллелямъ найдена Шоттомъ для Атлантическаго океана:

70° с. ш. . . .	1.0278
50 » » . . .	1.0265
25 » » . . .	1.0255
7 » » . . .	1.0224
25 ю. ш. . . .	1.0256
40 » » . . .	1.0260
50 » » . . .	1.0270

[1]) Шпиндлеръ. Лекціи Физической географіи, стр. 524.

Digitized by Google

т. е. плотность увеличивается вообще отъ экватора къ полюсамъ. Изъ таблицы Buchanan'a видно, съ другой стороны, что, въ среднемъ, дѣйствительная плотность увеличивается съ глубиною:

пов. .	200	400	600	800	1600	3000	4000 метровъ
1.0252	261	268	271	273	276	279	280 »

Роль солености въ физической жизни океановъ. Присутствіе солей кореннымъ образомъ измѣняетъ свойства океаническихъ водъ:

1) Присутствіе солей увеличиваетъ, во-первыхъ, удѣльный вѣсъ морской воды. Въ слѣдующей таблицѣ показанъ удѣльный вѣсъ воды при различномъ содержаніи солей и при $t=17°.5$:

содержаніе солей	1.30	1.83	2.23	2.63	2.89	3.15	3.41	3.67	3.93
удѣльный вѣсъ	1.010	14	17	20	22	24	26	28	30

Вообще найдено, что, съ увеличеніемъ содержанія солей приблизительно на 0.13%, плотность увеличивается на 0.001. Увеличеніе плотности при увеличеніи процентнаго содержанія солей имѣетъ огромное значеніе въ экономіи природы. Такъ какъ въ различныхъ частяхъ океановъ содержаніе солей неодинаково, то устанавливается *разность* плотностей, дающая импульсъ къ обмѣну водъ и къ образованію конвекціонныхъ токовъ. Въ прѣсной водѣ существуютъ также конвекціонные токи вслѣдствіе разности температуръ. Разность плотностей, вызванная различнымъ содержаніемъ солей, можетъ дать добавочный импульсъ для такихъ движеній. Напримѣръ, въ области пассатовъ на поверхности происходитъ сильное испареніе. Концентрація воды усиливается и болѣе соленыя частицы падаютъ внизъ. Вслѣдствіе значительной плотности падающихъ частицъ, это нисходящее движеніе достигаетъ значительныхъ глубинъ и въ результатѣ мы получаемъ на днѣ океановъ, подъ областью пассатовъ, зону увеличенной дѣйствительной плотности (до 1.0284—1.0293), какъ это можно видѣть на картѣ Buchanan'a. Эти нисходящіе токи должны вызывать соотвѣтствующіе восходящіе токи и вообще, болѣе усиленный обмѣнъ океаническихъ водъ и большее разнообразіе явленій. Но еще рѣзче проявляется значеніе разности плотностей въ проливахъ, соединяющихъ водоемы, наполненные водами различной концентраціи, а также въ общей циркуляціи океаническихъ водъ. Представимъ себѣ два водоема,

Digitized by Google

наполненныхъ водою различной плотности и соединенныхъ между собою узкимъ проливомъ. Въ такой системѣ водъ равновѣсіе не можетъ поддерживаться. Воды, менѣе плотныя, направляются по поверхности къ бассейну, содержащему болѣе плотныя воды; обратное направленіе будетъ имѣть нижнее теченіе. Такія теченія дѣйствительно существуютъ въ проливахъ, соединяющихъ Черное и Средиземное моря[1]): верхнія, менѣе плотныя, воды Чернаго моря направляются къ Средиземному; болѣе плотныя воды Средиземнаго моря вливаются въ Черное море, занимая нижніе горизонты. Этотъ притокъ водъ, имѣющихъ температуру около $13^0.5$, вноситъ въ Черное море значительный запасъ тепла, имѣющій огромное значеніе въ тепловомъ режимѣ Чернаго моря и окружающихъ его мѣстностей. Такія же теченія существуютъ въ Гибралтарскомъ[2]) и Бабельмандебскомъ проливахъ: верхнее теченіе направлено изъ океана, а нижнее — къ океану. Опытъ Карпентера иллюстрируетъ эти выводы. Вода наливается въ длинный и узкій стеклянный ящикъ. Одинъ конецъ столба воды, подкрашенный, положимъ, въ синій цвѣтъ, нагрѣвается, а другой, окрашенный въ красный, охлаждается[3]). Если нагрѣваніе и охлажденіе поддерживаются въ теченіе извѣстнаго времени то въ ящикѣ устанавливается медленная циркуляція. Синія, менѣе плотныя, струйки воды, по поверхности, направляются къ красному концу, а красныя, болѣе плотныя, ползутъ по дну въ противоположную сторону. Въ сторонѣ столба, имѣющей болѣе высокую температуру, образуется восходящій токъ; съ противоположной стороны устанавливается нисходящее теченіе. Является полная замкнутая циркуляція водъ. Въ природѣ мы имѣемъ аналогичныя условія: въ экваторіальной полосѣ, воды океановъ нагрѣваются съ поверхности; въ полярныхъ странахъ, мы имѣемъ сильно охлажденныя и болѣе плотныя массы. Слѣдовательно, въ толщѣ океаническихъ водъ должна образоваться такая вертикальная циркуляція: на поверхности, воды получаютъ стремленіе двигаться къ полюсамъ, а въ нижнихъ слояхъ—отъ

---

[1]) Глубина Босфора 50 метр. Скорость теченія въ Босфорѣ 4—8 килом. въ часъ. Соленость верхняго теченія 1.85‰; соленость нижняго—3.0‰.

[2]) Широта Гибралтарскаго пролива 14 килом.. наибольшая глубина 320 метровъ. Верхнее теченіе имѣетъ мощность 200 метровъ.

[3]) Еще лучше окрашивать тушью.

Digitized by Google

полюса къ экватору. Такъ какъ сила, дающая импульсъ этой циркуляціи, крайне ничтожна (разность плотностей между полюсомъ и экваторомъ), то эта циркуляція, особенно въ нижней своей части, должна быть крайне медленная, механически неуловимая; полярныя воды ползутъ по дну океановъ къ экватору. Это теченіе можно подмѣтить, лишь опредѣляя его температуру, соленость, плотность. Извѣстно, что вращеніе земли около оси стремится отклонить всякое тѣло, движущееся вдоль земной поверхности, въ сѣверномъ полушаріи вправо, въ южномъ—влѣво отъ первоначальнаго направленія. Вслѣдствіе этого, общее стремленіе водъ на поверхности океановъ получаетъ въ сѣверномъ полушаріи направленіе отъ юго-запада къ сѣверо-востоку, а на глубинахъ—отъ сѣверо-востока къ юго-западу.

Дѣйствительно ли существуетъ въ природѣ подобная циркуляція? Косвеннымъ доказательствомъ существованія этой циркуляціи можетъ служить тотъ фактъ, что восточныя части океановъ сѣвернаго полушарія теплѣе западныхъ. Повышенію температуры указанныхъ частей океановъ способствуютъ также океаническія теченія (Гольфштремъ и Куро-Сиво), а также общее стремленіе океаническихъ водъ двигаться къ сѣверо-востоку подъ дѣйствіемъ господствующихъ здѣсь юго-западныхъ вѣтровъ. Но болѣе серьезнымъ доказательствомъ общей циркуляціи служитъ распредѣленіе температуры въ нижнихъ слояхъ океановъ. Мы увидимъ ниже, что температура океаническихъ водъ, вообще, съ глубиною уменьшается до самаго дна; даже въ тропическихъ странахъ, на большихъ глубинахъ, господствуютъ низкія температуры (до—0.6°). Эти холодныя массы воды значительной мощности исходятъ изъ полярныхъ странъ и должны быть разсматриваемы, какъ нижній рукавъ общей океанической циркуляціи водъ.

2) Дистиллированная вода замерзаетъ при 0° и достигаетъ максимума плотности при 4°. Присутствіе солей понижаетъ, какъ температуру замерзанія, такъ и температуру максимума плотности. При этомъ, пониженіе температуры максимума плотности, при увеличеніи количества солей, идетъ быстрѣе, чѣмъ пониженіе температуры замерзанія. Вслѣдствіе этого, при извѣстномъ содержаніи солей, температура максимума плотности оказывается *ниже* температуры замерзанія. По опытамъ Rüdorf'a и Rosetti:

Digitized by Google

соленость при 17°.5 . .	1.30%	1.83	2.23	2.63	3.15	3.93
удѣльный вѣсъ	1.010	14	17	20	24	30
температура замерзанія .	—0°.7	—1.0	—1.2	—1.5	—1.8	—2.2
температура наибольшей плотности	1.2	0.0	—0.8	—1.7	—2.9	—4.9

а по Karsten'y:

соленость въ %	1	2	3	4
температура наибольшей плотности .	+1°.7	—0.8	—3.5	—6.1
температура замерзанія	—0.7	—1.4	—2.1	—2.6

Вслѣдствіе указаннаго свойства, процессъ охлажденія океаническихъ водъ идетъ иначе, чѣмъ охлажденіе и замерзаніе прѣсныхъ водъ. Положимъ, что въ большомъ водоемѣ находится прѣсная вода, охлаждающаяся съ поверхности. Частицы, охлаждаясь, дѣлаются болѣе плотными и падаютъ на дно, взамѣнъ ихъ выступаютъ болѣе теплыя частицы глубинъ. Этотъ процессъ продолжается до тѣхъ поръ, пока вся масса не приметъ температуру 4°. При дальнѣйшемъ охлажденіи, частицы дѣлаются менѣе плотными и замерзаніе начинается съ поверхности, а съ глубиною температура будетъ увеличиваться до 4°. Въ водоемѣ, наполненномъ морской соленой водой, охлажденіе влечетъ за собой непрерывное увеличеніе плотности. Охлажденныя частицы падаютъ на дно; замерзаніе начнется тоже съ поверхности, но температура съ глубиною, при извѣстномъ содержаніи соли, будетъ уменьшаться отъ поверхности до самаго дна.

3) Коэффиціентъ расширенія воды увеличивается по мѣрѣ возрастанія солености и температуры. Если объемъ морской воды при 0° обозначимъ черезъ V_0, то объемъ ея при t^0:

$$V_t = V_0(1 + at + bt^2 + ct^3 + dt^4),$$

гдѣ $a = 0.0456673,$

$b = 0.0597610,$

$c = -0.07293480,$

$d = 0.020331.$

Digitized by Google

4) Скорость испаренія морской воды меньше, чѣмъ прѣсной. По опытамъ Мазеле, если обозначимъ черезъ

x—суточное испареніе въ мм. прѣсной воды,

y—суточное испареніе въ мм. морской воды,

то

$$y = -0.018 + 0.7303\,x + 0.0561\,x^2 - 0.0044\,x^3.$$

При

$$x = 0,\ y = -0.018,$$

т. е. если воздухъ вполнѣ насыщенъ парами, такъ что испареніе прѣсной воды прекращается, то морская вода осушаетъ воздухъ на 0.018 мм. въ сутки. По опытамъ того же Мазеле, морская вода, въ которой содержаніе соли равнялось 3.7%, испарила въ сутки:

прѣсная вода . .	0.36 мм.	1.03	2.80	6.4
морская вода . .	0.25	0.78	2.40	5.8
отношеніе . . .	1.4	1.3	1.2	1.1

т. е. отношеніе между испареніемъ прѣсной и соленой воды тѣмъ ближе къ единицѣ, чѣмъ испареніе идетъ быстрѣе [1]).

5) Теплоемкость морской воды (0.93) меньше, чѣмъ дистиллированной, хотя и больше теплоемкости остальныхъ тѣлъ (теплоемкость воздуха=0.237). Теплоемкость морской воды уменьшается съ увеличеніемъ ея плотности.

6) Упругость насыщенныхъ паровъ морской воды меньше, чѣмъ прѣсной. Поэтому, насыщеніе надъ соленымп растворами наступаетъ раньше, чѣмъ надъ прѣсной водой.

Вопросъ о причинѣ солености океаническихъ водъ. Остается еще сказать нѣсколько словъ о вопросѣ, имѣющемъ исключительно геологическій интересъ, а именно о происхожденіи солей океаническихъ водъ. Вопросъ этотъ не рѣшенъ окончательно до настоящаго времени. Существовало предположеніе, что соли океаническихъ водъ доставляются рѣками. Первобытный океанъ былъ прѣсный. Но достаточно сравнить составъ рѣчныхъ и океаническихъ водъ, чтобы видѣть существенную раз-

[1]) Wiener akadem. Anzeiger. 1898, S. 48.

Digitized by Google

ницу. Въ слѣдующей таблицѣ показано процентное содержаніе солей рѣчныхъ и океаническихъ [1]):

	океанич. вода	рѣчн. вода	вода Невы
хлориды . . .	88.2%	2.5%	13.0%
сульфаты . . .	10.8	11.2	11.0
карбонаты. . .	0.3	57.7	74.0
остальныя . . .	0.7	38.6	2.0

Съ другой стороны, палеонтологи указываютъ на то, что древнѣйшія ископаемыя животныя принадлежатъ къ тѣмъ, которыя жили въ соленой водѣ, а не въ прѣсной; слѣдовательно, океаны съ самыхъ первыхъ геологическихъ эпохъ были солеными. Соленость есть свойство, присущее уже первобытному океану. Но куда же дѣвается огромный запасъ углекислой извести, доставляемой рѣками? Часть ея употребляется на известковыя части морскихъ организмовъ; эти известковыя части, послѣ отмиранія организмовъ, падаютъ на дно и образуютъ тѣ отложенія, о которыхъ мы говорили раньше. Съ другой стороны, возможно также преобразованіе химическимъ путемъ, т. е., переходъ углекислой извести въ сѣрнокислую (гипсъ). Гніющіе организмы даютъ сѣроводородъ, который, подъ вліяніемъ кислорода, переходитъ въ сѣрную кислоту, которая и превращаетъ углекислую известь въ гипсъ. Если справедливо, что океаническая соль имѣетъ первобытное происхожденіе, то, обратно, можно легко объяснить образованіе залежей соли путемъ испаренія, при благопріятныхъ условіяхъ, изъ океаническихъ водъ. Подобное объясненіе тѣмъ болѣе вѣроятно, что въ пластахъ каменной соли различные слои располагаются въ порядкѣ ихъ растворимости совершенно такъ, какъ это происходитъ при медленномъ выпариваніи соли въ искусственныхъ водоемахъ. Такъ напримѣръ, въ слояхъ каменной соли близъ Магдебурга, въ самыхъ нижнихъ слояхъ встрѣчаемъ поваренную соль съ сѣрноизвестковой (гипсъ); выше, къ поваренной соли прибавлены сѣрномагнезіальныя и твердыя соли хлористаго калія и хлористаго магнія. Заливъ Карабугазъ, въ восточной части Кас-

[1]) Forch. Annalen der Hydrographie und Maritimen Meteorologie. 1906. Heft I, S. 39.

Digitized by Google

пійскаго моря, представляетъ такія именно залежи каменной соли въ *процессѣ своего образованія* [1]).

Газы въ морской водѣ. Въ морской водѣ находятся въ растворѣ различные газы. Растворимость газа зависитъ отъ температуры и давленія: 1) съ увеличеніемъ температуры растворимость уменьшается; 2) растворимость пропорціональна давленію, но не общему, а парціальному давленію газа, о растворимости котораго идетъ рѣчь. Найдено, что въ одномъ кубическомъ сантиметрѣ дистиллированной воды, при нормальномъ давленіи (760 мм.) и при 0°, растворяется:

кислорода.	0.0410	куб. сант.
азота	0.0203	» »
углекислоты.	1.8000	» »

Вслѣдствіе этого, составъ воздуха, поглощеннаго водою, долженъ измѣняться. Найдемъ, какое количество газовъ, составляющихъ воздухъ, будетъ содержать вода, при давленіи 760 мм. и при 0°, принимая, что въ составъ воздуха входитъ 21% кислорода, 78.97% азота и 0.03% углекислоты.

Парціальное давленіе кислорода . . . $\frac{21}{100} \cdot 760 = 159.5$.

» » азота . . . . . $\frac{78.97}{100} 760 = 600.2$

» » углекислоты . . $\frac{0.03}{100} 760 = 0.2$

Слѣдовательно, въ одномъ кубическомъ сантиметрѣ воды будетъ заключаться:

кислорода . . .	$0.041 \frac{159.6}{760}$	$= 0.0086$	куб. с.
азота	$0.0203 \frac{600.2}{760}$	$= 0.0160$	» »
углекислоты . .	$1.8 \frac{0.2}{760}$	$= 0.0005$	» »
всего		0.0252	» »

[1]) Заливъ Карабугазъ соединяется съ Каспійскимъ моремъ узкимъ проливомъ, длиною около 3 километровъ и глубиною 2—6 метр.

Digitized by Google

или въ процентахъ

кислородъ	34%
азотъ	64
углекислота . . .	2

Изъ наблюденій, среднимъ числомъ, получено: кислородъ — 33.9%, азотъ—66.1%. Но эти средніе числа претерпѣваютъ нѣкоторыя колебанія, причину которыхъ слѣдуетъ искать въ постоянномъ движеніи воды, въ процессахъ окисленія, въ большемъ или меньшемъ ея богатствѣ органической жизнью и т. п. По Buchanan'у, количество кислорода уменьшается до глубины 300 саженъ (до 11%), а на глубинѣ 800 саженъ оно равно 23—24%. Минимумъ (на глубинѣ 300 саженъ) объясняется сильнымъ развитіемъ органической жизни въ этомъ слоѣ, особенно въ тропическихъ моряхъ. Холодныя воды полярныхъ странъ сильнѣе растворяютъ воздухъ; но часть кислорода потребляется на процессы окисленія; неизмѣннымъ остается только содержаніе азота. Полярныя воды, ползущія по дну океановъ къ экватору, можно, поэтому, прослѣдить по количеству растворенаго въ нихъ азота. Вообще, количество растворенаго въ водѣ кислорода не особенно сильно уменьшается съ глубиною, несмотря на постоянный расходъ этого газа; изъ этого мы вправѣ заключить, что въ водахъ океановъ должна имѣть мѣсто, своего рода, компенсація. Компенсація эта можетъ происходить только съ поверхности, а это даетъ намъ право заключить, что въ океанѣ происходитъ весьма сильный обмѣнъ поверхностныхъ и глубинныхъ водъ, что крайне важно для поддержанія физической и органической жизни океановъ.

Углекислота не остается въ морской водѣ вся свободной; она большею частью вступаетъ въ соединеніе съ карбонатами для образованія бикарбонатовъ. При температурѣ около 20° Dittmar нашелъ среднее количество углекислоты на поверхности

Атлантическаго океана	40	мгр.	на	1	литръ	воды
Тихаго	» 36	»	»	»	»	»

Подобно другимъ газамъ, количество углекислоты увеличивается съ пониженіемъ температуры.

Черноморскія экспедиціи 90-хъ годовъ, подъ руководствомъ Шпиндлера, обнаружили тотъ замѣчательный фактъ, что воды

Digitized by Google

Чернаго моря, начиная съ 100-саженной глубины, заражены сѣроводородомъ. Наибольшее его количество найдено

на глубинѣ 1159 саженъ . . . 0.0005 гр. въ 1 литрѣ воды.

Профессоръ Андрусовъ предполагаетъ, что вымираніе организмовъ и разложеніе на днѣ ихъ остатковъ, при недостаткѣ циркуляціи воздуха, можетъ быть причиною образованія сѣроводорода. По мнѣнію Лебединцева, сѣроводородъ является результатомъ возстановленія сѣрнокислыхъ солей органическими веществами до сѣрнистыхъ соединеній и разложенія послѣднихъ водою въ сильно разбавленномъ растворѣ; возможна при этомъ дѣятельность бактерій. Вообще вопросъ этотъ нуждается въ дальнѣйшихъ изслѣдованіяхъ.

Соображенія Clarke'a объ общемъ составѣ атмосферы, водной оболочки и земной коры. Закончимъ эту главу небольшой выдержкой изъ интересныхъ соображеній американскаго ученаго F. W. Clarke'a. Если предположить, что до глубины 16 километровъ химическое строеніе земной коры сходно съ поверхностными, доступными наблюденію, слоями, то въ составъ этой коры, а также воздушной и водяной оболочекъ, взятыхъ въ ихъ цѣломъ, входятъ, по вычисленіямъ Clarke'a, различные элементы въ слѣдующихъ пропорціяхъ. Первое мѣсто по вѣсу принадлежитъ кислороду (49.98%), второе — кремнію (25.30%); далѣе идутъ аллюминій, желѣзо, кальцій, магній, натрій, калій, вѣсовое количество которыхъ колеблется отъ 7.26% до 2.23%; количество водорода равно 0.94%; количество другихъ элементовъ не превышаетъ 0.3%. Даже углеродъ, столь сравнительно обильный въ верхнихъ слояхъ, не превышаетъ 0.21% всей массы.

Литературныя указанія.

1) *Handbuch der nautischen Instrumente. Hydrographisches Amt der Admiralität. Berlin. 1882.

2) *Supan. Grundzüge der Physischen Erdkunde. Leipzig. 1903.

3) *Boguslawsky. Handbuch der Ozeanographie. Stuttgart. 1887. Bd. I—II.

Digitized by Google

4) * F. Attlmayr. Handbuch der Oceanographie. Bd. I—II. Wien. 1883.

5) * Toulet. L'Océan, ses lois et ses problèmes. Paris. 1904.

6) * Шпиндлеръ. Лекціи по физической географіи. Спб. 1903.

7) * Krümmel. Der Ocean. Leipzig und Prag. 1886.

8) * Wissenschaftliche Ergebnisse der deutschen Tiefsee-Expedition auf dem Dampfer «Valdivia» 1898—99. Jena. 1902.

9) * Макаровъ. Витязь и Тихій океанъ. Спб. 1894.

10) * Келлеръ. Жизнь моря. Спб. 1897.

11) * Filhol. Les âbimes de la mer. Paris. 1880.

12) * Клоссовскій. Колебанія уровня и температуры въ береговой полосѣ Чернаго и Азовскаго морей. Спб. 1890.

13) * Книповичъ. Экспедиція для научно-промысловыхъ изслѣдованій у береговъ Мурмана. Спб. 1902.

14) * Knudsen. Hydrographische Tabellen. Kopenhagen. 1901.

15) * Krümmel. Handbuch der Ozeanographie. 1907.

16) * Отдѣльныя статьи въ журналахъ:

a) Морской Сборникъ.

b) Записки по гидрографіи.

c) Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie.

d) Scottish Geographical Magazine.

e) Pettermann's Mitteilungen.

f) Geographisches Jahrbuch.

g) Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen.

17) * Карты, изданныя «Deutsche Seewarte»:

a) Atlantischer Ocean.

b) Indischer Ocean.

c) Stiller Ocean.

18) * Изданія «British Meteorological Council and Meteorological Office» въ Лондонѣ.

19) * Изданія «Neederland Instituut» въ Утрехтѣ.

20) * Атласы Berghaus'a и Bartholomy.

21) * Atlas de la météorologie maritime. Paris.

Digitized by Google

V.

Солнечное лучеиспусканіе.

Радіація солнца и ея роль въ жизни нашей планеты. Составъ солнечной радіаціи. Напряженіе солнечной радіаціи. Тепловой методъ опредѣленія солнечнаго лучеиспусканія. Приборы Пулье и Крова. Приборъ Violle'я. Приборы Angström'а. Приборъ Михельсона. Статическій методъ. Приборы Хвольсона. Химическіе методы. Электрическіе методы. Результаты наблюденій. Дневные періоды. Объясненіе дневного хода радіаціи. Годовой ходъ радіаціи. Измѣненіе радіаціи съ высотою. Методы опредѣленія солнечной постоянной. Сущность экстраполяціи. Формулы Бугера и Віолля. Болометръ Лянгле. Величина солнечной постоянной. Поглощеніе и разсѣяніе въ атмосферѣ. Непосредственная утилизація солнечной энергіи. Литературныя указанія.

Радіація солнца и ея роль въ жизни нашей планеты. Вся, выше описанная, сложная система, составляющая земной шаръ съ ея гидро- и аэро-сферой, находится подъ дѣйствіемъ какъ внутреннихъ такъ и внѣшнихъ силъ.

Внутреннія силы связаны неразрывно съ массой земли: взаимное притяженіе частицъ, химическая энергія, а также магнитныя и электрическія свойства, вызывающія образованіе геомагнитнаго и геоэлектрическаго поля земли. Внутренняя тепловая энергія обусловливаетъ выходъ газовъ, паровъ, кипящей воды и расплавленной лавы, колебанія почвы, вѣковыя перемѣщенія материковъ, продолжающійся и нынѣ процессъ горообразованія.

Внѣшнія силы исходятъ изъ космоса: солнца, луны, планетъ и вообще міріадъ космическихъ тѣлъ, которыя описываютъ свои орбиты въ пространствѣ. Въ различныхъ формахъ проявляется это вліяніе космоса. Силами тяготѣнія управляются сложныя движенія земли въ солнечной системѣ. Эти же силы вызываютъ деформаціи въ жидкой и, несомнѣнно, въ воздушной и твердой оболочкахъ земли и производятъ приливную ихъ пульсацію. Небесныя свѣтила обусловливаютъ, далѣе, извѣстныя измѣненія въ распредѣленіи электрическихъ и магнитныхъ свойствъ земли. Междупланетное пространство, съ своей низкой температурой, съ одной стороны, обусловливаетъ постепенное вѣковое охлажденіе земли и, косвенно, пробуждаетъ къ дѣятельности могущественныя эндогенныя силы; съ другой стороны,

Digitized by Google

оно является источникомъ низкой температуры, своего рода холодильникомъ, который необходимъ для функціонированія той термической машины, которой можно, до нѣкоторой степени, уподобить нашу атмосферу, а также водяную оболочку.

Но собственно жизнь на земной поверхности, во всемъ ея разнообразіи, вызывается тѣми потоками энергіи, которые врываются въ нашу атмосферу въ формѣ солнечной радіаціи. Часть лучистой энергіи получается также отъ луны, планетъ и звѣздъ и, какъ мы увидимъ дальше, отъ самой атмосферы. Но лучеиспусканіе звѣздъ и планетъ крайне ничтожно. По Langley'ю, совокупная ихъ радіація даетъ въ каждую минуту, на 1 квадр. сантиметръ поверхности, незначительную часть малой калоріи (0.0001). Newton оцѣниваетъ совокупное лучеиспусканіе всѣхъ звѣздъ въ $\frac{1}{31000000}$ часть солнечной радіаціи. Такъ же незначительна радіація, испускаемая луною. Langley пришелъ къ заключенію, что полное дѣйствіе лунной радіаціи можетъ поднять температуру вычерненнаго шарика термометра на $\frac{1^0}{6000}$ Ц. Нужно замѣтить, что луна посылаетъ два рода радіаціи: отраженную и темную, испускаемую нагрѣтой солнцемъ лунной поверхностью. Темная часть радіаціи поглощается весьма сильно нашей атмосферой, богатой водяными парами, и потому можно ожидать, что въ болѣе высокихъ слояхъ атмосферы, интенсивность лунной радіаціи гораздо сильнѣе. Изъ сказаннаго видно, что, при учетѣ тепла, получаемаго нашей планетой, радіація луны и звѣздъ играетъ весьма малую роль. Такимъ образомъ, вся жизнь нашей планеты, во всемъ ея разнообразіи, обусловливается притокомъ солнечной радіаціи. Общій приходъ этой энергіи громаденъ. По приблизительному подсчету, годовой приходъ этой энергіи оцѣнивается въ 3.2×10^{18} граммокалорій въ минуту или 1.68×10^{24} граммокалорій въ годъ. Нужно 600000 лѣтъ сожигать весь, находящійся въ распоряженіи человѣка, горючій матеріалъ (дрова, уголь и т. д.), чтобы получить то количество тепла, которое солнце посылаетъ на земную поверхность въ теченіе одного года[1]). Такъ какъ видимый діаметръ земли, наблюдаемой съ солнца, равенъ 17″.6, то очевидно, что только

[1]) Bulletin de la société astronomique de France. Janvier. 1898.

Digitized by Google

1 : 2260000000 доля испускаемой солнцемъ энергіи перехватывается, такъ сказать, землей. Часть этой энергіи теряется, отражаясь въ междупланетную среду. Другая же, болѣе значительная, преобразовывается, поддерживая тѣ или другія формы жизни нашей планеты. Такъ, солнечная энергія приводитъ въ движеніе сложный механизмъ воздушныхъ и морскихъ теченій; подъ вліяніемъ солнечныхъ лучей происходитъ работа испаренія съ поверхности земной; пары поднимаются вверхъ, переносятся воздушными теченіями въ другія части земной поверхности, сгущаются и падаютъ въ формѣ различнаго рода осадковъ (дождя, снѣга и т. д.), которые, по рѣкамъ и ручьямъ, опять попадаютъ въ море. Короче, работой солнца поддерживается живительный круговоротъ воды на земной поверхности. Солнечные лучи нагрѣваютъ земную поверхность, и тепло это постепенно передается отъ слоя къ слою какъ въ глубь, такъ и въ атмосферу и обусловливаетъ въ почвѣ и атмосферѣ тотъ запасъ тепла, который столь необходимъ для всякой органической жизни. Свѣтовая часть солнечной энергіи даетъ наше дневное освѣщеніе и все разнообразіе оптическихъ метеоровъ (радуга, голубой цвѣтъ неба, круги около солнца и луны). Зеленыя части растеній, подъ вліяніемъ свѣта, разлагаютъ углекислоту воздуха, скоплян въ тканяхъ своихъ запасы углерода. Мало того, работа солнечныхъ лучей не только поддерживаетъ жизнь нашей планеты въ ея настоящемъ; путемъ отложенія углерода въ растеніяхъ, она скопляется, образуя запасы потенціальной энергіи, которой мы пользуемся сотни и тысячи лѣтъ спустя въ формѣ каменнаго угля. Работой солнца, какъ мы сказали, вода, въ видѣ пара, переносится въ атмосферѣ, скопляется, въ формѣ снѣга и льда, на горахъ, и питаетъ наши источники, ручьи, рѣки, водопады, представляющіе новый аккумулированный запасъ солнечной энергіи, которымъ человѣчество начинаетъ широко пользоваться для различныхъ техническихъ цѣлей, преобразовывая его въ свѣтъ, теплоту, движеніе и другія формы. Это, своего рода, *бѣлый уголь*. Дѣлались попытки, какъ увидимъ далѣе, аккумулировать солнечные лучи путемъ концентрированія ихъ при помощи зеркалъ (инсоляторы). Естественно, поэтому, что изученіе количества и распредѣленія солнечной энергіи на земной поверхности и въ ея атмосферѣ составляетъ краеугольный камень *физики земного шара*.

Digitized by Google

Составъ солнечной радіаціи. Призма, поставленная на пути солнечнаго луча, разлагаетъ его на цѣлый рядъ элементарныхъ волнъ различной длины и различной преломляемости отъ крайнихъ, невидимыхъ глазу, ультракрасныхъ до крайнихъ, тоже не воспринимаемыхъ зрѣніемъ, ультрафіолетовыхъ (спектръ). Свѣтовая часть спектра составляетъ одну, такъ сказать, октаву въ безконечномъ рядѣ колебательныхъ движеній. Предѣлы доступнаго нашимъ изслѣдованіямъ спектра постепенно раздвигаются, Но наблюденія не обнаружили до настоящаго времени присутствія въ солнечной радіаціи длинныхъ электрическихъ волнъ [1]), а съ другой стороны — катодныхъ и рентгеновскихъ лучей.

Если мы бѣлымъ пучкомъ свѣта будемъ называть пучекъ, въ составъ котораго входятъ лучи всевозможныхъ преломляемостей отъ крайнихъ ультракрасныхъ до крайнихъ ультрафіолетовыхъ, то, съ точки зрѣнія этого опредѣленія, солнечный лучъ окрашенъ. Мы видѣли раньше, что солнечная атмосфера обладаетъ избирательною поглощательною способностью; она поглощаетъ лучи извѣстной преломляемости, т. е. окрашиваетъ бѣлый пучекъ, исходящій изъ солнечнаго ядра. Дальнѣйшей окраскѣ онъ подвергается въ земной атмосферѣ. Въ спектрѣ являются новыя темныя линіи земного происхожденія, *теллурическія* линіи. Главной поглощающей средой въ земной атмосферѣ являются водяные пары; увеличеніе количества водяныхъ паровъ въ атмосферѣ отмѣчается въ спектроскопѣ усиленіемъ напряженности теллурическихъ линій. Въ виду этого, сдѣланы были попытки примѣненія спектроскопа къ предсказанію предстоящаго дождя. По мнѣнію Лянгле, окраска солнечнаго луча земной атмосферой такъ велика, что наблюдателю, перенесенному на границу атмосферы, солнце казалось бы окрашеннымъ въ голубой и даже синій цвѣтъ.

Напряженіе солнечной радіаціи. Несмотря на то, что солнечная энергія составляетъ первоисточникъ всей жизни нашей планеты, тѣмъ не менѣе, серьезное вниманіе на точное количественное измѣреніе солнечнаго напряженія обращено лишь въ самое недавнее время. Правда, первыя опредѣленія сдѣланы еще

---

[1]) Nordmann. Essai sur le rôle des ondes Hertziennes en astronomie physique. Paris. 1903.

Digitized by Google

Соссюромъ, Форбесомъ, Пулье; но методы, примѣненные этими изслѣдователями, далеко несовершенны. Въ послѣднее время наука о солнечной радіаціи подвинута трудами Violle'я, Crova, Langley'я, Angström'a, Хвольсона. Въ Россіи, инженеру Савельеву принадлежитъ инициатива актинометрическихъ наблюденій, а проф. Хвольсону—глубоко обоснованная критика существующихъ методовъ измѣренія солнечнаго напряженія. Въ послѣдніе годы образовалась даже особая международная комиссія по изученію солнца вообще и его радіаціи въ частности.

Вопросъ объ измѣреніи напряженія солнечной энергіи составляетъ довольно трудную, чисто физическую, задачу. Къ рѣшенію этой задачи можно подойти различными способами. Представимъ себѣ мысленно вырѣзанный, изъ общаго потока солнечныхъ лучей, призматическій пучекъ, сѣченіе котораго равно одному квадратному сантиметру. Поставимъ на пути пучка какое-нибудь тѣло и подвергнемъ дѣйствію инсоляціи, въ теченіе одной минуты, вычерненную его поверхность, нормальную къ оси пучка. Падающая на наше тѣло лучистая энергія поглощается тѣломъ и можетъ преобразоваться въ различныя формы. Энергія эта можетъ, во-первыхъ, преобразоваться въ тепловую и нагрѣть тѣло или вызвать переходъ его изъ одного состоянія въ другое, напр. плавленіе; зная теплоемкость тѣла и его вѣсъ или скрытое тепло плавленія и количество расплавленнаго вещества, можемъ выразить въ калоріяхъ энергію, которую несетъ каждую минуту пучекъ солнечныхъ лучей въ 1 квадр. сантиметръ сѣченія. То количество энергіи, которое несетъ призматическій пучекъ свѣта въ 1 минуту, назовемъ *напряженіемъ солнечной радіаціи* или просто *солнечной радіаціей* и будемъ обозначать числовую ея величину, выраженную въ малыхъ калоріяхъ, буквой J. Это количество J выразитъ, слѣдовательно, то количество тепла, которое получаетъ въ одну минуту каждый квадратный сантиметръ поверхности, поставленной нормально къ солнечнымъ лучамъ. Но этотъ же пучекъ, падая на химически сложное тѣло, или на смѣсь тѣлъ, способныхъ образовать химическое соединеніе, можетъ вызвать *химическую реакцію*; въ этомъ случаѣ, о напряженіи пучка можно судить или по интенсивности внѣшнихъ измѣненій, произведенныхъ подъ дѣйствіемъ свѣта, или по количеству произведенной внутренней химической работы. Падая на одинъ изъ спаевъ термоэлектрической пары, солнечная энергія

Digitized by Google

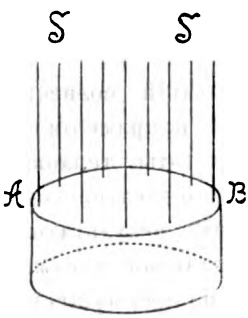
можетъ выступить въ формѣ электровозбудительной силы термоэлектрическаго тока, а слѣдовательно, напряженіе солнечнаго свѣта можно выразить въ электрическихъ единицахъ. Въ концѣ 80-хъ годовъ удалось открыть новое свойство лучей, какъ электрическихъ, такъ и солнечныхъ. Свойство это открыто Герцемъ, Гальваксомъ, изслѣдовано покойнымъ проф. Столѣтовымъ и, въ послѣднее время, Эльстеромъ и Гейтелемъ. Найдено, что подъ вліяніемъ лучей, фіолетовыхъ и особенно ультрафіолетовыхъ, заряженный отрицательно электроскопъ теряетъ свой электрическій зарядъ. Скорость разсѣянія находится въ извѣстной зависимости отъ напряженія радіаціи. Это — актино-электрическія явленія. Наконецъ, солнечный пучекъ даетъ *свѣтовое* напряженіе и, въ извѣстныхъ предѣлахъ, можно допустить, что между свѣтовой и общей энергіей солнечнаго луча существуетъ нѣкоторое соотношеніе. Возможенъ, слѣдовательно, *фотометрическій* методъ сужденія о напряженіи солнечной радіаціи.

Каждое изъ перечисленныхъ преобразованій солнечной энергіи можно положить въ основу опредѣленій напряженія солнечной радіаціи. Возможны, слѣдовательно, методы тепловые, химическіе, электрическіе, фотометрическіе, актино-электрическіе. Конечно, методы эти не могутъ дать согласныхъ результатовъ, такъ какъ солнечная радіація есть радіація составная, а каждое изъ указанныхъ преобразованій производится, по преимуществу, лучами извѣстной преломляемости; напр., актиническія явленія обусловливаются лучами фіолетовыми и ультрафіолетовыми, фотометрическія — лучами видимой части спектра; между тѣмъ, намъ неизвѣстна точная зависимость между работой извѣстной группы лучей и общею напряженностью пучка. Кромѣ того, составъ солнечнаго пучка, въ зависимости отъ состоянія метеорологическихъ факторовъ, можетъ постоянно мѣняться. Въ зависимости отъ примѣненнаго метода, мы можемъ выразить результаты нашихъ измѣреній въ единицахъ тепловыхъ (калоріяхъ), свѣтовыхъ, въ единицахъ электровозбудительной силы или химической работы (внутренней или внѣшней).

Тепловой методъ опредѣленія солнечнаго лученспусканія. Приборы Pouillet и Crova. Наиболѣе разработанъ въ настоящее время *тепловой* методъ опредѣленія солнечной радіаціи. Мы не будемъ останавливаться на первоначальныхъ стадіяхъ примѣненія этого метода. Замѣтимъ, что тепловой методъ можно примѣ-

Digitized by Google

нить двоякимъ образомъ. Можно подвергнуть тѣло дѣйствію солнечныхъ лучей въ теченіе извѣстнаго времени и опредѣлить количество тепла, поглощеннаго имъ. Подобный методъ называютъ *динамическимъ* методомъ. Можно также подвергнуть дѣйствію солнечныхъ лучей шарики двухъ термометровъ, изъ которыхъ одинъ вычерненъ, а другой блестящій, выждать того момента, когда они достигнутъ стаціонарнаго состоянія и напряженіе солнечнаго лученспусканія вычислить по разности показаній обоихъ термометровъ. Этотъ методъ называется *статическимъ* Въ «Приложеніи» дана общая теорія динамическихъ актинометровъ. Изъ этой теоріи видно, что динамическій методъ можно примѣнить или по способу Pouillet, или по способу Violle'я, или по пріему Angström'a-Хвольсона.



Фиг. 75.

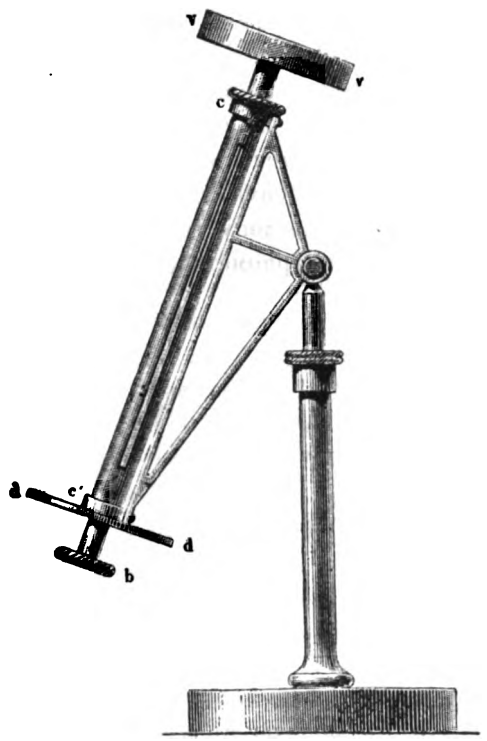
Представимъ себѣ тѣло, имѣющее цилиндрическую форму (фиг. 75), вѣсъ котораго равенъ p граммовъ, а теплоемкость—c. На верхнюю его плоскость падаютъ нормально солнечные лучи, вслѣдствіе чего тѣло нагрѣвается. Если первоначальная температура его была T_1, а окончательная, послѣ 5 минутъ инсоляціи, T_2, то количество тепла, полученнаго каждымъ квадратнымъ сантиметромъ его поверхности (въ предположеніи, что все упавшее тепло пошло на нагрѣваніе тѣла), будетъ

$$J=\frac{cp(T_2-T_1)}{5s}=A(T_2-T_1),$$

гдѣ s—площадь инсолируемой поверхности въ квадратныхъ сантиметрахъ. Величины c, p и s опредѣляютъ предварительными опытами. Очевидно, что J и дастъ то, что мы назвали напряженіемъ солнечнаго лученспусканія. Прототипомъ приборовъ, основанныхъ на этомъ принципѣ, можетъ служить *пиріліометръ Пулье* (фиг. 76). Приборъ этотъ состоитъ изъ тонкостѣннаго серебрянаго цилиндра VV большаго діаметра, но малой высоты, наполненнаго водою; передняя поверхность цилиндра вычернена. Въ цилиндрѣ помѣщается шарикъ чувствительнаго термометра, шкала котораго находится въ особой гильзѣ cc'. На другомъ концѣ гильзы укрѣпленъ кружокъ dd, діаметръ котораго равенъ

Digitized by Google

діаметру сосуда *VV*. Весь приборъ помѣщается на особой подставкѣ и можетъ вращаться въ различныхъ плоскостяхъ и около своей оси. Необходимо предварительно опредѣлить, возможно точнѣе, теплоемкость цилиндра съ водою, а также величину вычерненной поверхности (въ квадратныхъ сантиметрахъ). Самое наблюденіе производится слѣдующимъ образомъ. Оріентируютъ приборъ, т. е. ставятъ его такъ, чтобы лучи солнца падали перпендикулярно на вычерненную поверхность, а это будетъ достигнуто тогда, когда тѣнь цилиндра вполнѣ покроетъ нижній кружокъ *dd*; затѣмъ, начиная съ извѣстнаго момента, нужно измѣрить по термометру повышеніе температуры отъ дѣйствія солнечныхъ лучей въ теченіе, напримѣръ, 5 минутъ; при этомъ приборъ постоянно поворачиваютъ около оси при помощи пуговки *b*, дабы вода въ цилиндрѣ успѣвала принимать однообразную температуру и не образовала на внутренней сторонѣ инсолируемой поверхности непроводящей пленки. Но это измѣреніе требуетъ введенія нѣкоторыхъ поправокъ. Извѣстно, что всякое тѣло, находясь въ средѣ, имѣющей болѣе низкую температуру, теряетъ тепло путемъ лучеиспусканія и теплопроводности, и потеря эта тѣмъ больше, чѣмъ больше разность между температурой тѣла и температурой среды. Когда цилиндръ *VV* нагрѣвается, онъ начинаетъ, въ то же время, терять часть своего тепла въ воздухъ, а потому



Фиг. 7.

Digitized by Google

видимое нагрѣваніе его ниже *дѣйствительнаго*. Вычислить теоретически поправку отъ охлажденія весьма трудно. Въ виду этого, примѣняютъ слѣдующій пріемъ. Безъ значительной погрѣшности можно допустить, что охлажденіе во время опыта (5 минутъ) равно средней ариѳметической изъ охлажденія въ теченіе 5 минутъ до опыта и въ теченіе 5 минутъ послѣ опыта. Согласно съ этимъ допущеніемъ, опытъ производятъ такимъ образомъ: оріентируютъ приборъ, закрываютъ его ширмой и опредѣляютъ его охлажденіе (t_1) въ теченіе 5 минутъ въ тѣни. Затѣмъ ширму отодвигаютъ; приборъ нагрѣвается въ теченіе 5 минутъ; опять ставится ширма и измѣряютъ вновь его охлажденіе (t_2) въ тѣни. Безъ значительной погрѣшности можно допустить, что охлажденіе во время опыта равно средней ариѳметической изъ охлажденія до и послѣ опыта, т. е.

$$\frac{t_1+t_2}{2},$$

а слѣд., исправленное нагрѣваніе будетъ

$$(T_2-T_1)+\frac{t_1+t_2}{2}$$

и

$$J=\frac{cp\left[(T_2-T_1)+\frac{t_1+t_2}{2}\right]}{5\,s}.$$

Но необходимо замѣтить, что въ первую минуту послѣ закрытія прибора ширмой, нагрѣваніе все же продолжается (продолженіе реакціи по устраненіи дѣйствующаго агента). То же явленіе наблюдается и при удаленіи ширмы: въ 1-ю минуту продолжается охлажденіе. Принимая во вниманіе это обстоятельство, опредѣленіе въ окончательномъ видѣ производятъ слѣдующимъ образомъ: наблюдаютъ 5 минутъ въ тѣни и открываютъ ширму; наблюденіе 6-ой минуты отбрасываютъ; затѣмъ наблюдаютъ 7—11-ую минуты; въ концѣ 11-ой минуты ширму закрываютъ и наблюденіе 12-ой минуты отбрасываютъ. Остается только записать показаніе 13—17 минутъ. Для примѣра приведемъ наблюденіе, произведенное моимъ ассистентомъ И. Я. Точидловскимъ 30 сентября 1906 года въ Одессѣ:

Digitized by Google

охлажденіе въ тѣни было . . . 0°.2
нагрѣваніе » . . . 3.2
охлажденіе въ тѣни » . . . 0.8

Истинное нагрѣваніе равно 3.2+0.5=3.7°

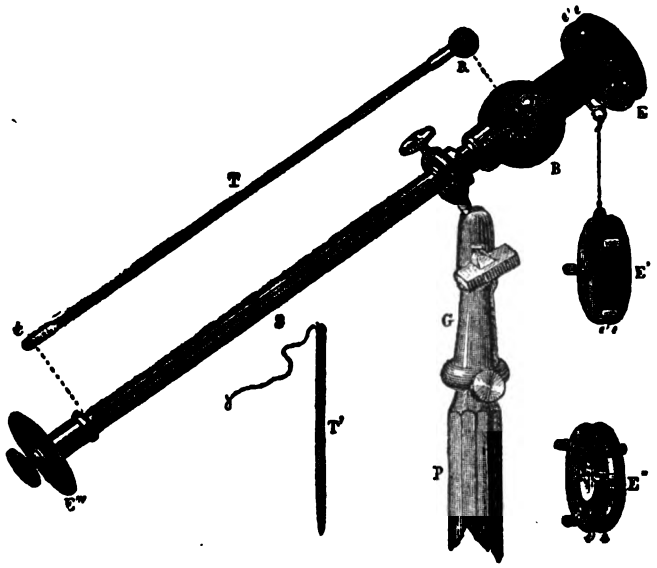
$J=A\times 3.7$. Но A, для нашего прибора, равно 0.27,

а слѣдовательно, $J=0.999$ килоріи.

Въ виду большой теплоемкости воды, Crova устроилъ пиргеліометръ, въ которомъ воду замѣнилъ *ртутью*, а цилиндръ изготовилъ изъ стали. Нельзя не указать существенные недостатки прибора Пулье, а именно: 1) крайне трудно точно опредѣлить теплоемкость всего цилиндра, 2) нельзя быть увѣреннымъ, что термометръ показываетъ истинную температуру всей массы цилиндра и воды, такъ какъ, несмотря на вращеніе прибора, частицы воды прилипаютъ къ стѣнкамъ и образуютъ непроводящій слой. Полное наблюденіе, при помощи пиргеліометра Пулье, продолжается 17 минутъ, что связано со многими неудобствами, поэтому, для бѣглыхъ наблюденій пользуются *актинометромъ* Crova. Приборъ этотъ (фиг. 77) состоитъ изъ большой термометровидной стеклянной трубки RTt съ вычерненнымъ шарикомъ R, который помѣщается въ центрѣ никеллированнаго шара B. Черезъ прорѣзъ въ гильзѣ S видны равныя, произвольной величины, дѣленія. Весь приборъ укрѣпляется на треножникѣ PG. Переднее отверстіе можетъ быть закрыто ширмочкой E'. Шарикъ R наполненъ спиртомъ, въ которомъ находится капля ртути, служащая для выпусканія индексовъ. Чтобы получить индексъ, устанавливаютъ приборъ вертикально, шарикомъ вверхъ; при этомъ ртуть займетъ самое низкое положеніе въ шарикѣ, а часть ея войдетъ въ каналъ, частью подъ давленіемъ собственной тяжести, частью вслѣдствіе расширенія спирта подъ вліяніемъ тепла руки, приложенной на время къ отверстію прибора. Затѣмъ, быстро приведя приборъ въ горизонтальное положеніе, мы отрываемъ всю остальную ртуть, и индексъ полученъ. Далѣе мы манипулируемъ приблизительно такъ же, какъ и съ пиргеліометромъ Пулье, т. е. оріентируемъ приборъ такъ, чтобы солнечные лучи падали по оси прибора, а это будетъ достигнуто тогда, когда тѣнь верхней расширенной части гильзы закроетъ

Digitized by Google

нижній кружокъ *E'''*. Затѣмъ наблюдаемъ перемѣщеніе индекса въ 1-ую минуту при закрытой ширмѣ. Въ концѣ 1-ой минуты ширму удаляемъ, наблюденіе 2-й минуты отбрасываемъ и отсчитываемъ нагрѣваніе прибора въ 3-ью минуту; въ концѣ третьей минуты ширма закрывается; наблюденіе 4-ой минуты опять



Фиг. 77.

отбрасываемъ и отсчитываемъ охлажденіе въ теченіе 5-ой минуты. Наблюденіе, произведенное 30 сентября 1906 года, дало слѣдующія числа:

охлажденіе	въ 1-ую	минуту	. . . 0.8
нагрѣваніе	» 3-ью	»	. . . 14.3
охлажденіе	» 5-ую	»	. . . 2.8.

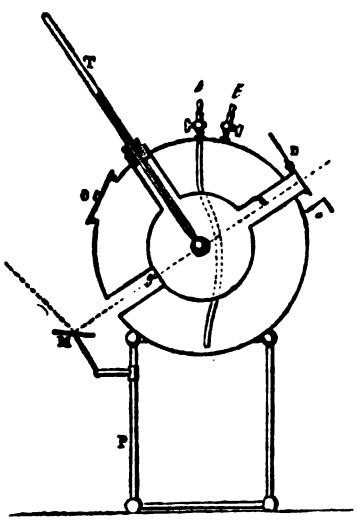
Слѣд., исправленное нагрѣваніе равно

$$14.3+1.8=16.1 \text{ дѣленія.}$$

Такимъ образомъ, результатъ опредѣленія выразится произвольными дѣленіями актинометра, а слѣдовательно, результаты, полученные различными актинометрами, будутъ несравнимы между собою, подобно тому, какъ несравнимы измѣренія одного и того

Digitized by Google

же разстоянія единицами различной длины. Чтобы выразить результаты эти въ *абсолютныхъ* тепловыхъ единицахъ (калоріяхъ), нужно актинометръ *градуировать*. Градуировать актинометръ значитъ найти тепловое значеніе одного его дѣленія, т. е. узнать, сколько калорій посылаетъ солнце въ одну минуту на одинъ квадр. сантиметръ поверхности, если индексъ прибора передвигается на одно дѣленіе. Градуированіе дѣлается путемъ сравненія актинометра Crova съ нормальнымъ пиргеліометромъ. Положимъ, что наблюденія производятся по обоимъ приборамъ въ одинъ и тотъ же моментъ. По показаніямъ пиргеліометра, радіація равна, напр., 0.999 калорій, а въ актинометрѣ индексъ, послѣ введенія поправки, перемѣстился на 16.1 дѣленій. Слѣдовательно, одно дѣленіе актинометра будетъ соотвѣтствовать 0.999 : 16.1=0.062. Повторяя эти сравненія нѣсколько разъ, можно найти среднюю величину тепла, соотвѣтствующаго перемѣщенію индекса на одно дѣленіе актинометра. Полученное, такимъ образомъ, число называется *тепловымъ коэффиціентомъ актинометра* Crova. Это число служитъ для обращенія относительныхъ показаній актинометра Crova въ абсолютныя.



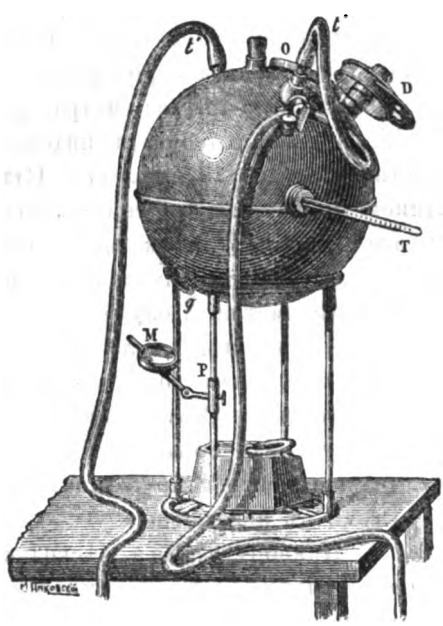
Фиг. 78.

Приборъ Violle'a. Нѣсколько иначе примѣняется динамическій методъ въ приборѣ Violle'a [1]). Этотъ приборъ (фиг. 78 и 79) состоитъ изъ двухъ сферическихъ концентрическихъ оболочекъ изъ латуни. Въ центрѣ внутренней оболочки, діаметромъ въ 15 сант., находится шарикъ чувствительнаго термометра *T*. Діаметръ сфернческаго резервуара термометра—отъ 5 до 15 мм. Шарикъ и внутренняя стѣнка оболочки вычернены. Оболочка поддерживается пр : постоянной температурѣ или льдомъ или токомъ воды;

[1]) Подробныя указанія относительно прибора Violle'a см. Любославскій. Замѣтки по актинометріи. Спб. 1902.

Digitized by Google

внѣшняя оболочка имѣетъ діаметръ въ 23 сантиметра; поверхность его полирована и закрыта экраномъ кромѣ отверстія D, чрезъ которое проходятъ солнечные лучи. У D находится подвижная діафрагма съ отверстіями различной величины; отверстіе у g закрыто стекломъ слегка вычерненнымъ; зеркало M служитъ для оріентированія прибора такъ, чтобы солнечные лучи падали прямо на шарикъ; если лучи падаютъ прямо на термометръ, то въ зеркалѣ M видна тѣнь шарика термометра. Когда термометръ достигнетъ стаціонарнаго состоянія, отсчитываютъ температуру; затѣмъ открываютъ діафрагму и отмѣчаютъ, чрезъ каждую минуту или полъ минуты, температуру до тѣхъ поръ, пока она не сдѣлается стаціонарной, на что нужно около $^1/_4$ часа. Послѣ этого, опять закрываютъ діафрагму и отмѣчаютъ обратный ходъ термометра. Отсюда можно опредѣлить количество солнечной теплоты, основываясь на слѣдующемъ замѣчаніи. Когда шарикъ термометра находится подъ дѣйствіемъ солнечныхъ лучей, то измѣненіе его температуры обусловлено, съ одной стороны, приходомъ тепла отъ солнца, а съ другой — лучеиспусканіемъ къ внутренней, холодной, оболочкѣ прибора. Обозначимъ буквой V скорость нагрѣванія (повышеніе термометра, отнесенное къ единицѣ времени) въ тотъ моментъ, когда температура термометра равна Θ; обозначимъ черезъ U *скорость* охлажденія въ тотъ моментъ, когда термометръ, охлаждаясь, получитъ ту же температуру Θ; скорость, съ которой нагрѣвался бы термометръ, если бы не было охлажденія, выразимъ буквой W; очевидно, что



Фиг. 79.

$$V=W-U,$$

Digitized by Google

откуда

$$W = V + U.$$

Теплоемкость шарика термометра, отнесенная къ водѣ, пусть будетъ M; слѣдовательно,

$$MW = M(V + U),$$

гдѣ MW представляетъ абсолютное количество тепла, полученнаго въ одну минуту шарикомъ нашего термометра. Раздѣливъ MW на s (площадь сѣченія шарика), получимъ, очевидно, напряженіе солнечной радіаціи

$$J = \frac{MW}{s} = \frac{M}{s}(V + U).$$

Остается только опредѣлить $V + U$. Для этого возьмемъ частный примѣръ, а именно, одно изъ наблюденій, произведенныхъ на Монбланѣ.

Время отъ начала наблюденія t	Температура при нагрѣваніи Q	Температура при охлажденіи Q_1	$Q + Q_1 = Q_0$
0 минутъ	0°	18°.0	18°.0
5 »	14.9	3.0	17.9
10 »	17.6	0.6	18.2
15 »	17.9	0.1	18.0
20 »	18.0	0.0	18.0

Наблюденія обнаружили, что сумма $Q + Q_1 = Q_0$ есть величина постоянная для каждаго ряда наблюденій. На основаніи этихъ чиселъ, можно опредѣлить *скорость* охлажденія. Для этого Violle связываетъ наблюденныя температуры съ временемъ слѣдующими двумя эмпирическими формулами:

$$Q = Q_0\left(1 - e^{mt}\right) \qquad (1)$$

и

$$Q_1 = Q_0 e^{mt} \qquad (2)$$

Digitized by Google

Изъ этихъ формулъ можно опредѣлить скорость нагрѣванія и скорость охлажденія [1]):

$$V = mQ_0 - mQ,$$

$$U = mQ_1,$$

$$V + U = mQ_0 - mQ + mQ_1.$$

При одной и той же температурѣ $Q = Q_1$,

$$V + U = mQ_0$$ [2]).

Въ данномъ примѣрѣ Violle получилъ $Q_0 = 18°$, $m = 0.36$, $M = 0.222$ граммокал., $s = 0.608$ квадр. сантиметра, откуда

$$J = (U + V)\frac{M}{s} = 2.39 \text{ граммокалоріи.}$$

Нѣсколько иначе располагается вычисленіе радіаціи по методу Хвольсона [3]).

---

[1]) Скорости нагрѣванія и охлажденія равны первымъ производнымъ отъ Q и Q_1 по времени, т. е.

$$V = \frac{dQ}{dt} \text{ и } U = \frac{dQ_1}{dt}$$

[2]) Уравненія (1) и (2) должны имѣть мѣсто для каждаго изъ отсчетовъ; получимъ, такимъ образомъ, столько уравненій, сколько произведено отсчетовъ. Изъ этихъ уравненій опредѣлимъ коэффиціентъ m, по способу наименьшихъ квадратовъ. Форма эмпирической зависимости, связывающей Q и t, взята не произвольно. Она вытекаетъ изъ закона охлажденія Ньютона. Если температура тѣла равна Q', а температура среды $0°$, то, по закону Ньютона,

$$\frac{dQ'}{dt} = mQ'; \quad \frac{dQ'}{Q'} = m dt,$$

откуда

$$\log Q' = mt + C.$$

Но при $t = 0$, $Q' = Q_0$, $\log Q_0 = C$

$$\log \frac{Q'}{Q_0} = mt \text{ и } Q' = Q_0 e^{mt}.$$

[3]) Хвольсонъ. О современномъ состояніи актинометріи, стр. 93 и Любославскій Замѣтки по актинометріи. Спб. 1902.

Digitized by Google

Приборы Angström'a. Профессоръ Angström въ Упсалѣ построилъ два актинометра. Основной принципъ первоначальнаго прибора слѣдующій. Двѣ, совершенно одинаковыя, небольшія мѣдныя пластинки подвергаются, поочередно, дѣйствію солнечной инсоляціи и, поочередно, могутъ затѣняться. При помощи небольшаго термоэлемента, можно опредѣлить разность ихъ температуръ. Въ тотъ моментъ, когда разность ихъ температуръ достигнетъ нѣкоторой величины b, мѣняютъ затѣненіе и опредѣляютъ время t, необходимое для того, чтобы эта разность сдѣлалась равной—b. Если b не особенно велико, то напряженіе радіаціи (Q) можно опредѣлить по формулѣ

$$Q=\frac{2Wb}{t},$$

гдѣ W—теплоемкость каждой изъ пластинокъ. И дѣйствительно [1]). Если T есть избытокъ температуры первой пластинки надъ температурой среды, то $T+b$ представитъ избытокъ температуры второй пластинки надъ температурой той же среды. По прошествіи t минутъ избытокъ температуры первой пластинки сдѣлается равнымъ T_1, а второй $T_1—b$. Первая пластинка, во время t, получила отъ солнца количество тепла Qt. Часть этого тепла пошла на нагрѣваніе пластинки отъ T до T_1; эта часть равна $W(T_1-T)$; другая часть $aW\frac{T+T_1}{2}t$ потеряна въ окружающую среду путемъ лучеиспусканія. Очевидно, что

$$Qt=W(T_1-T)+aW\frac{T+T_1}{2}t. \qquad (3)$$

Тепло, потерянное второй пластинкой въ t минутъ, равно

$$aW\frac{T+b+T_1-b}{2}t=aW\frac{T+T_1}{2}t,$$

т. е. охлажденіе обѣихъ пластинокъ во время t совершенно одинаково. Но измѣненіе температуры второй пластинки равно

$$(T+b)-(T_1-b)=T-T_1+2b,$$

---

[1]) Homén. Der tägliche Wärmeumsatz im Boden und die Wärmestrahlung zwischen Himmel und Erde. Leipzig. 1896, S. 104.

Digitized by Google

а слѣдовательно, отдача тепла

$$aW\frac{T+b+T_1-b}{2}t=W(T-T_1+2b).$$

Вставляя въ выше приведенное выраженіе (3)

$$Qt=W(T_1-T)+W(T-T_1+2b)=2Wb,$$

$$Q=\frac{2Wb}{t}.$$

Нѣсколько иной принципъ *компенсаціоннаго* прибора Angström'a. Двѣ, очень тонкія и совершенно одинаковыя, полоски укрѣплены на разстояніи нѣсколькихъ миллиметровъ другъ отъ друга. Полоски вычернены со стороны, обращенной къ измѣряемому источнику тепла. Съ задней стороны ихъ прикрѣплены спаи термическаго элемента, въ цѣпь котораго введенъ гальваноскопъ. Если одна изъ полосокъ подвергнется дѣйствію радіаціи, а другая останется въ тѣни, то въ цѣпи является токъ. Особымъ токомъ, измѣняя его сопротивленіе, нагрѣемъ полоску до тѣхъ поръ, пока стрѣлка гальваноскопа не прійдетъ въ равновѣсіе; въ этомъ случаѣ, обѣ полоски будутъ имѣть одну и ту же температуру. Если

i—сила тока,

r—сопротивленіе цѣпи,

b—ширина полосокъ,

a—поглощательная способность поверхности полосокъ, то можно доказать, что

$$J=\frac{ri^2 60}{4{,}19ba}$$ граммокалоріи на квадр. сант. въ 1 мин.

Преимущества прибора:

1) такъ какъ температура полосокъ одинакова, то результатъ не требуетъ поправокъ отъ лучеиспусканія, проводимости и конвекціи.

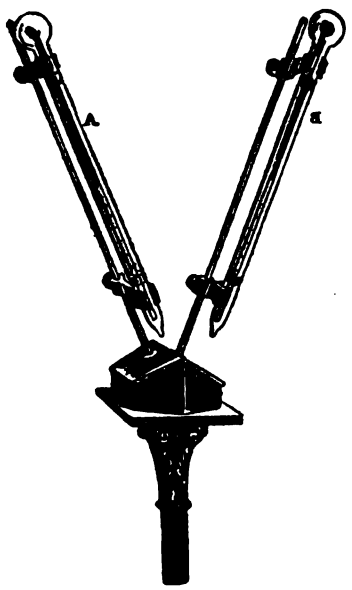
2) полоски очень тонки и малой массы, а потому, приборъ достигаетъ стаціонарнаго состоянія очень быстро.

3) соотвѣтственнымъ выборомъ гальванометра и термоэлемента, можно весь приборъ сдѣлать очень чувствительнымъ.

Digitized by Google

4) гальванометръ служитъ лишь для указанія разности температуръ, а потому, не нужны сложныя опредѣленія, связанныя съ гальванометрическими измѣреніями [1]).

Приборъ Михельсона. Существуетъ еще одна группа приборовъ, основанныхъ на примѣненіи динамическаго метода. Въ этой группѣ, измѣряемая энергія употребляется на измѣненіе физическаго состоянія нѣкотораго вещества (плавленіе или испареніе); при этомъ нужно опредѣлить массу вещества, претерпѣвшаго, въ теченіе извѣстнаго времени, измѣненіе аггрегатнаго состоянія. Въ ряду этихъ приборовъ первое мѣсто принадлежитъ ледяному калориметру профессора Петровско-Разумовской академіи Михельсону [2]).



Фиг. 80.

Статическій методъ. Нерѣдко, особенно на сельско-хозяйственныхъ станціяхъ, примѣняется методъ *статическій*, осуществленіемъ котораго могутъ служить сопряженныя шарики Violle'я, а также относительный актинометръ Arago-Davy.

Актинометръ Arago-Davy (фиг. 80) состоитъ изъ двухъ термометровъ одинаковой величины, одинъ съ чернымъ шарикомъ, другой — съ блестящимъ; они окружены стеклянными трубками съ баллонами въ 4 сантиметра въ діаметрѣ. Въ оболочкахъ этихъ воздухъ разрѣженъ. Оба термометра устанавливаются

[1]) См. подробности: a) Angström. Intensité de la radiation solaire à différentes altitudes. Nova Acta Regiae Societatis Scientiarum Upsaliensis. Vol. 20. 1901. b) Angström. Ueber absolute Bestimmungen der Wärmestrahlung mit dem elektrischen Compensations-Pyrheliometer. Wiedemann's Annalen. T. 67. 1899, S. 633.

[2]) См. сообщеніе въ засѣданіи секціи физики IX съѣзда русскихъ естествоиспытателей и врачей въ Москвѣ, 10 января 1894 года, и отдѣльный оттискъ: «О примѣненіи ледянаго калориметра». Спб. 1894.

Digitized by Google

такъ, чтобы подвергались, по возможности, одинаковой инсоляціи. Каждый изъ шариковъ, съ одной стороны, получаетъ тепло, съ другой—теряетъ его путемъ теплопроводности и лучеиспусканія. Когда приходъ тепла дѣлается равнымъ расходу, термометръ достигаетъ стаціонарнаго состоянія. При стаціонарномъ состояніи, показаніе чернаго шарика t_1 очевидно больше, чѣмъ показаніе блестящаго t_2 и разность t_1-t_2 служитъ мѣрою солнечной радіаціи, что, приблизительно, оправдывается слѣдующимъ разсужденіемъ. Обозначимъ количество солнечной теплоты, падающей на каждый изъ шариковъ въ единицу времени, черезъ q; пусть

e_1—коэффиціентъ лучеиспусканія чернаго шарика,
e_2— » » блестящаго шарика,
n — » поглощенія » »
Q_1—температура чернаго шарика,
Q_2— » блестящаго шарика,
Q — » оболочки,
приходъ тепла чернаго шарика въ 1 времени—q,
» » блестящаго шарика въ 1 времени—nq,
расходъ тепла чернаго шарика въ 1 времени $(e_1+n_1)(Q_1-Q)$,
» » блестящаго » » » » $(e_2+n_1)(Q_2-Q)$,

гдѣ n_1—коэффиціентъ внѣшней теплопроводности стекла. При стаціонарномъ состояніи, приходъ равенъ расходу, т. е.

a) для чернаго шарика:

$$q=(e_1+n_1)(Q_1-Q)=(e_1+n_1)Q_1-(e_1+n_1)Q,$$

b) для блестящаго:

$$nq=(e_2+n_1)(Q_2-Q)=(e_2+n_1)Q_2-(e_2+n_1)Q$$

$$q(e_2+n_1)=(e_1+n_1)(e_2+n_1)Q_1-(e_1+n_1)(e_2+n_1)Q$$

$$nq(e_1+n_1)=(e_1+n_1)(e_2+n_1)Q_2-(e_1+n_1)(e_2+n_1)Q$$

$$q[(e_2+n_1)-n(e_1+n_1)]=[(e_1+n_1)(e_2+n_1)](Q_1-Q_2)$$

$$q=\frac{(e_1+n_1)(e_2+n_1)}{(e_2+n_1)-n(e_1+n_1)}(Q_1-Q_2).$$

Если считать величины e_1, e_2, n и n_1 постоянными, то

$$q=A(Q_1-Q_2),$$

Digitized by Google

т. е., въ первомъ приближеніи, $Q_1 - Q_2$ (разность показаній термометровъ) можетъ служить мѣрою солнечнаго напряженія. Проф. Лѣсного Института Любославскій произвелъ рядъ сравнительныхъ наблюденій надъ актинометромъ Arago-Davy. Оказалось, что въ актиноскопѣ Араго-Дэви мы имѣемъ «достаточно грубый, но совершенно доступный для всякой станціи приборъ, дающій сглаженную до извѣстной степени радіацію, который можно рекомендовать сельско-хозяйственнымъ станціямъ. Но для измѣренія радіаціи, время отъ времени, для этого прибора необходимо опредѣлять и провѣрять переводный факторъ сравненіемъ съ надежнымъ актинометромъ» [1]).

Вообще нужно замѣтить, что результаты, полученные до сихъ поръ тепловыми актинометрами различныхъ системъ, значительно разнятся другъ отъ друга. Причина заключается, во-первыхъ, въ томъ, что нѣкоторые изъ нихъ (Пулье, Angström, Arago) даютъ сумму радіаціи солнца и небеснаго свода; въ другихъ же (Violle, Crova), стараются оградить доступъ разсѣянной радіаціи при помощи діафрагмъ. Далѣе, каждый изъ актинометровъ требуетъ ряда поправокъ, опредѣленіе которыхъ представляетъ значительныя трудности и исключеніе ихъ почти невозможно. Большія погрѣшности могутъ войти при опредѣленіи теплоемкости такихъ большихъ массъ, какъ пиргеліометры Пулье или Crova. Съ другой стороны, крайне трудно точно опредѣлить теплоемкость термометрическаго шарика въ приборѣ Violl'я. Различные слои черни, покрывающей пріемники актинометровъ, могутъ обладать далеко не совершенными поглощательными свойствами. Вотъ почему, въ опредѣленіи напряженія солнечной радіаціи въ абсолютныхъ единицахъ, несмотря на многочисленныя работы первоклассныхъ физиковъ, наука далеко еще не сказала своего послѣдняго слова.

Приборы Хвольсона. Профессоръ Хвольсонъ предпринялъ капитальную работу по изученію актинометровъ, а также тѣхъ законовъ, которые лежатъ въ основѣ актинометріи вообще. Результаты этой обширной работы изложены въ двухъ его клас-

---

[1]) Любославскій. Замѣтки по актинометріи. Спб. 1902, стр. 23. См. также: a) Колли, Мышкинъ и Казинъ. Актинометрическія наблюденія на метеор. обсерв. Петровской Академіи. Москва 1890; b) Хвольсонъ. О современномъ состояніи актинометріи. Спб. 1891.

Digitized by Google

сическихъ изслѣдованіяхъ, напечатанныхъ подъ заглавіемъ: 1) О современномъ состояніи актинометріи. Спб. 1892. 2) Актинометрическія изслѣдованія къ устройству пиргеліометра и актинометра. Спб. 1893. Изучивъ тщательно погрѣшности наблюденій различныхъ системъ актинометровъ, проф. Хвольсонъ построилъ два актинометра: нормальный и переносный, описаніе которыхъ можно найти въ указанныхъ только что изслѣдованіяхъ профессора Хвольсона. Наставленіе для употребленія переноснаго прибора (фиг. 81) вошло также въ «Инструкцію, изданную Главной Физической Обсерваторіей». Нужно замѣтить, что въ книгѣ проф. Хвольсона дана общая теорія актинометровъ, которую мы приводимъ въ математическихъ приложеніяхъ къ настоящему курсу.

Фиг. 81.

Еще недавно русская подкомиссія по изученію солнца, собиравшаяся въ Москвѣ (5—9 апрѣля 1906 г.), произвела сравненіе актинометровъ Angström'a, Михельсона, Violle'я-Савельева, Crova и пришла къ тому заключенію, что, изъ абсолютныхъ приборовъ, компенсаціонный пиргеліометръ Angstrom'a является въ настоящее время

Digitized by Google

самымъ точнымъ и самымъ удобнымъ [1]). Эти выводы вполнѣ согласны съ заключеніями проф. Хвольсона, а также постановленіями международнаго съѣзда по вопросу объ изученіи солнца.

Химическіе методы. Еще менѣе сравнимые результаты даютъ *химическіе* методы. Въ химическихъ актинометрахъ мѣрою солнечной радіаціи считаютъ количество вещества, образовавшагося при извѣстной реакціи, происходящей подъ дѣйствіемъ солнечнаго пучка или интенсивность внѣшнихъ измѣненій, вызванныхъ реакціей. Для этой цѣли примѣняемы были разнообразныя реакціи, обзорѣніе которыхъ можно найти въ книгахъ Marchand [2]), Pizzighelli [3]), Radau [4]), Панченко [5]) и др. Еще Draper измѣрялъ химическое дѣйствіе свѣта по количеству хлористоводородной кислоты, образовавшейся подъ дѣйствіемъ свѣта, изъ равныхъ объемовъ хлора и водорода. Пріемъ этотъ былъ видоизмѣненъ и усовершенствованъ Bunsen'омъ и Roscoe. Marchand основалъ свой способъ на измѣреніи количества угольной кислоты, выдѣляющейся изъ воднаго раствора щавелевой кислоты и шестихлористаго желѣза. Boisin въ 1860 году и позже Bunsen и Roscoe примѣняли бумагу, обработанную хлористымъ серебромъ, для опредѣленія химической силы свѣта. Еще недавно Schwabe опубликовалъ результаты многолѣтнихъ наблюденій (1897 — 1902), произведенныхъ по этому методу, видоизмѣненному Wiesner'омъ, въ Кремсмюнстерѣ [6]). Отсылая интересующихся къ выше указаннымъ сочиненіямъ, ограничимся лишь общими замѣчаніями. Наблюденія, произведенныя при посредствѣ различныхъ реакцій, очевидно, несравнимы между собой. Еще менѣе сравнимы они съ результатами, полученными тепловыми актинометрами, такъ какъ не доказана пропорціональность между химической силой производящаго реакцію пучка и общей его энергіей. Кромѣ того, различные реактивы, употребляемые

---

[1]) Протоколъ второго собранія актинометрической подкомиссіи, состоявшагося 7—9 апрѣля 1906 года въ Москвѣ.

[2]) Marchand. Etude sur la force chimique du rayon solaire.

[3]) Pizzighelli. Die Actinometrie. Wien. 1884.

[4]) Les radiations chimiques du soleil. Paris 1877.

[5]) Солнечное лучеиспусканіе. Одесса. 1892.

[6]) Ueber die photochemische Klima von Kremsmünster. Denkschriften der Wien. Akad. d. Wissenschaft. 1904. Bd. LXXIV.

Digitized by Google

для фотохимическихъ измѣреній, чувствительны къ извѣстнаго рода лучамъ по преимуществу. Такъ, хлористое серебро наиболѣе чувствительно къ небольшой части крайнихъ фіолетовыхъ лучей; на реактивъ Marchand'a наибольшее дѣйствіе оказываютъ голубые лучи. Далѣе,—свѣточувствительные реактивы помѣщаются обыкновенно въ сосудахъ, въ которые пропускается пучекъ свѣта черезъ оконце, закрытое стекломъ; вслѣдствіе этого, одна часть свѣта отражается отъ зеркальной поверхности стекла, другая—поглощается стекломъ, и только нѣкоторая часть радіаціи, совершенно неизвѣстная, проникаетъ во внутрь и производитъ реакцію. Но наиболѣе сильное возраженіе выдвинуто французскимъ химикомъ Berthelot[1]). Существуютъ двѣ группы реакцій: *экзотермическія*, выдѣляющія тепло, и *эндотермическія*, поглощающія тепло. Въ экзотермическихъ реакціяхъ, свѣтъ только обусловливаетъ химическое дѣйствіе, но не онъ производитъ главную работу; свѣтъ играетъ какъ бы роль спички, воспламеняющей костеръ. Въ эндотермическихъ реакціяхъ именно свѣтовое дѣйствіе производитъ работу, какъ напримѣръ, въ процессахъ воздушнаго питанія растеній или разложенія хлористаго серебра. Большая часть реакцій, которыми пользовались для фотохимическихъ изслѣдованій, принадлежитъ, между тѣмъ, къ реакціямъ экзотермическимъ.

Электрическіе методы. Энергія солнечнаго луча можетъ быть преобразована въ электродвигательную силу, что даетъ возможность построить электрическіе актинометры. Основная идея этихъ актинометровъ заключается въ слѣдующемъ. Представимъ себѣ, что вычерненный спай термоэлектрическаго элемента или одна сторона цѣлаго термоэлектрическаго столбика подвергается инсолирующему дѣйствію источника энергіи. Въ цѣпь введенъ мультипликаторъ. Desain показалъ, что если мы откроемъ діафрагму, закрывающую спай, и подвергнемъ его дѣйствію лучей солнца, то стрѣлка получитъ нѣкоторое импульсивное движеніе. Это импульсивное дѣйствіе пропорціонально начальной скорости нагрѣванія, которая, въ свою очередь, находится въ прямой зависимости отъ напряженія солнечной радіаціи въ этотъ моментъ; слѣдовательно, импульсивное отклоненіе

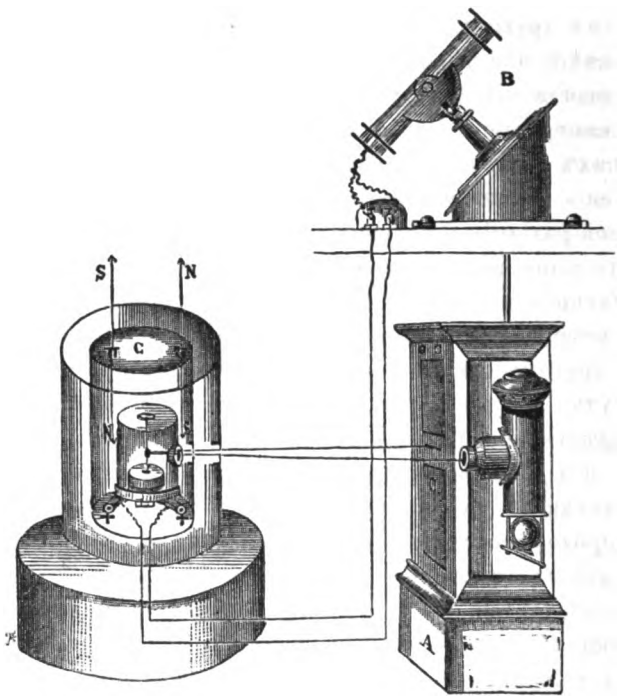
[1]) Sur l'action chimique de la lumière. Annales de physique et de chimie. 1869.

Digitized by Google

стрѣлки, измѣренное гальванометромъ, можетъ служить для измѣренія солнечной инсоляціи. Результаты наблюденій будутъ выражены отклоненіями гальванометра. Градуируя приборъ, можно результаты эти перевести въ абсолютныя единицы. Методъ этотъ далъ возможность Crova устроить весьма удобные *самопишущіе* или *регистрирующіе* актинографы. Нужно замѣтить, что напряженіе солнечной радіаціи претерпѣваетъ непрерывныя измѣненія; оно, какъ бы, пульсируетъ и притомъ весьма неправильно. Вообще, въ ходѣ метеорологическихъ явленій не существуетъ, во многихъ случаяхъ, плавнаго перехода отъ одного состоянія явленія къ другому. Переходъ этотъ совершается путемъ какъ бы дрожаній или вибрацій; амплитуды и періоды этихъ дрожаній не всегда одинаковы. Такія дрожанія замѣчаются также въ ходѣ температуры, давленія, влажности, магнитныхъ и электрическихъ силъ земли. Особенно велики эти дрожанія въ ходѣ напряженія солнечной радіаціи. Въ виду этого, при изученіи солнечной радіаціи необходимо имѣть приборы, которые бы отмѣчали это напряженіе или непрерывно или черезъ небольшіе промежутки времени. Crova, на принципѣ электрическаго актинометра, устроилъ два актинографа: одинъ даетъ непрерывныя записи, другой—отмѣчаетъ напряженіе черезъ небольшіе, равные, промежутки времени. Устройство ихъ въ существенныхъ чертахъ слѣдующее. Термоэлектрическій элементъ (фиг. 82) состоитъ изъ желѣза и новаго серебра. Каждый спай имѣетъ форму диска 10 мм. въ діаметрѣ и 0.1 мм. толщиною. Каждый дискъ продолжается узкой металлической лентой, устанавливающей связь съ гальванометромъ *C* посредствомъ кабелей. Часть цѣпи помѣщается въ трубкѣ *B*, хорошо никеллированной снаружи, ось которой, при посредствѣ геліостата, слѣдитъ за движеніемъ солнца такъ, что солнечные лучи, пройдя черезъ рядъ діафрагмъ, падаютъ нормально на вычерненный дискъ. Напряженіе радіаціи въ каждый моментъ измѣряется соотвѣтственнымъ отклоненіемъ апериодическаго гальванометра *C*, находящагося въ кабинетѣ наблюдателя. Чтобы сдѣлать приборъ самопишущимъ, стрѣлка гальванометра снабжена зеркальцемъ, передъ которымъ, на извѣстномъ разстояніи, находится лампа, покрытая колпакомъ, въ которомъ сдѣлано небольшое круглое отверстіе. Параллельный пучекъ свѣта падаетъ на зеркальце, отражается и попадаетъ на равномѣрно движущуюся свѣточувствительную полосу

Digitized by Google

бумаги, находящуюся въ шкапчикѣ *A*. Если напряженіе радіаціи неизмѣняется, стрѣлка остается въ покоѣ, и свѣтлая точка на движущейся бумагѣ оставляетъ, послѣ проявленія, слѣдъ прямой линіи. Если же напряженіе радіаціи измѣняется, стрѣлка перемѣщается, и свѣтовой пучекъ оставитъ на бумагѣ слѣдъ, имѣющій форму кривой линіи, изгибы которой укажутъ измѣненія солнечной радіаціи. Въ новомъ приборѣ Crova (actinographe à pointes), приборъ на движущейся бумагѣ механически отмѣчаетъ положеніе стрѣлки черезъ извѣстные промежутки времени.



Фиг. 82.

Термоэлектрическая пара помѣщена въ трубку, снабженную щелью и прикрѣпленную къ часамъ геліостата. Токъ, возбуждаемый нагрѣваніемъ, идетъ въ гальванометръ, подвижная часть котораго снабжена аллюминіевою стрѣлкою, длиною 20 сант., движущеюся надъ барабаномъ Ришара, покрытымъ бумагою. На концѣ стрѣлки насажено перо, которое черезъ каждую минуту

Digitized by Google

прижимается къ барабану и оставляетъ на немъ слѣдъ въ видѣ точки. Для разработки фотограммъ, нужно въ извѣстные моменты производить непосредственныя наблюденія при помощи абсолютнаго актинометра. Изъ сравненія съ записями актинографа найдемъ числовую величину переводныхъ коэффиціентовъ.

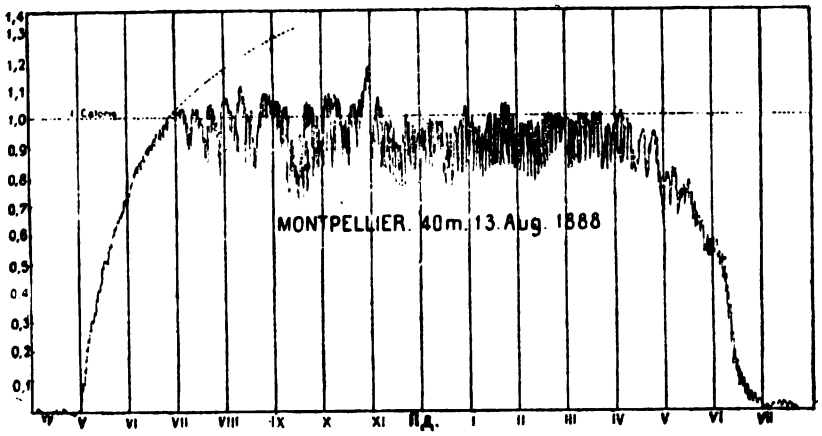
Переходную ступень между актинометрами химическими и электрическими занимаетъ фотохимическій актинометръ E. Becquerell'я, видоизмѣненный Егоровымъ. Еще E. Becquerel замѣтилъ, что если погрузить двѣ металлическія пластинки въ слабый водный растворъ кислотъ, щелочей или солей и подвергнуть одну изъ нихъ дѣйствію свѣтовыхъ лучей, а другую помѣстить въ темнотѣ, то при этомъ обнаруживается токъ. Позже Becquerel констатировалъ, что если покрыть платиновыя пластинки разлагающимся на свѣтѣ веществомъ, напримѣръ, хлористымъ серебромъ, то, подъ дѣйствіемъ свѣта, пластинки электризовались положительно, а жидкость—отрицательно, и получался довольно сильный токъ. Активными лучами являлись лучи фіолетовые и ультрафіолетовые. Продолжая изслѣдованія Becquerel'я, Егоровъ построилъ свой фотоэлектрическій актинометръ, состоявшій изъ двухъ пластинокъ, покрытыхъ слоемъ іодистаго серебра, погруженныхъ въ 2% растворъ сѣрной кислоты и замкнутыхъ чувствительнымъ гальванометромъ [1]).

Результаты наблюденій. Дневные періоды. Разрабатывая актинометрическія записи, мы замѣчаемъ, что радіація претерпѣваетъ быстрыя измѣненія во времени. Мы уже раньше указали, что напряженіе солнечной радіаціи обнаруживаетъ постоянныя и весьма значительныя колебанія во времени. Характеръ этихъ колебаній можно видѣть на фиг. 83 и 84, представляющихъ копіи фотограммъ, отмѣченныхъ актинографомъ Crova 13 августа 1888 года въ Монпелье (фиг. 83), на вершинѣ Mont-Ventoux на высотѣ 2000 метровъ (фиг. 84) и на вершинѣ Монблана на высотѣ 4100 м. (фиг. 85). Если установить два прибора рядомъ, то отмѣченныя ими кривыя будутъ имѣть почти тождественный видъ. Но кривыя, начерченныя двумя приборами, установленными на значительномъ разстояніи другъ отъ друга, совершенно различны, изъ чего необходимо заключить, что причины этихъ

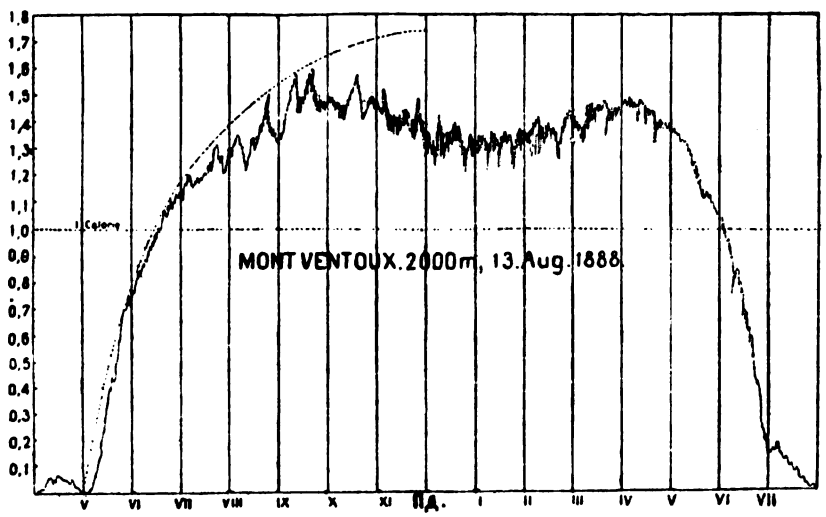
[1]) Интересныя подробности изслѣдованій Егорова см. Журналъ Физико-Химическаго Общества. 1877 годъ. Т. IX.

Digitized by Google

мелкихъ колебаній лежатъ не въ природѣ солнца, а имѣютъ теллурическое (земное), даже мѣстное, происхожденіе. Колебанія эти происходятъ исключительно отъ непрерывно измѣняющейся прозрачности слоевъ воздуха, черезъ которые проходятъ сол-



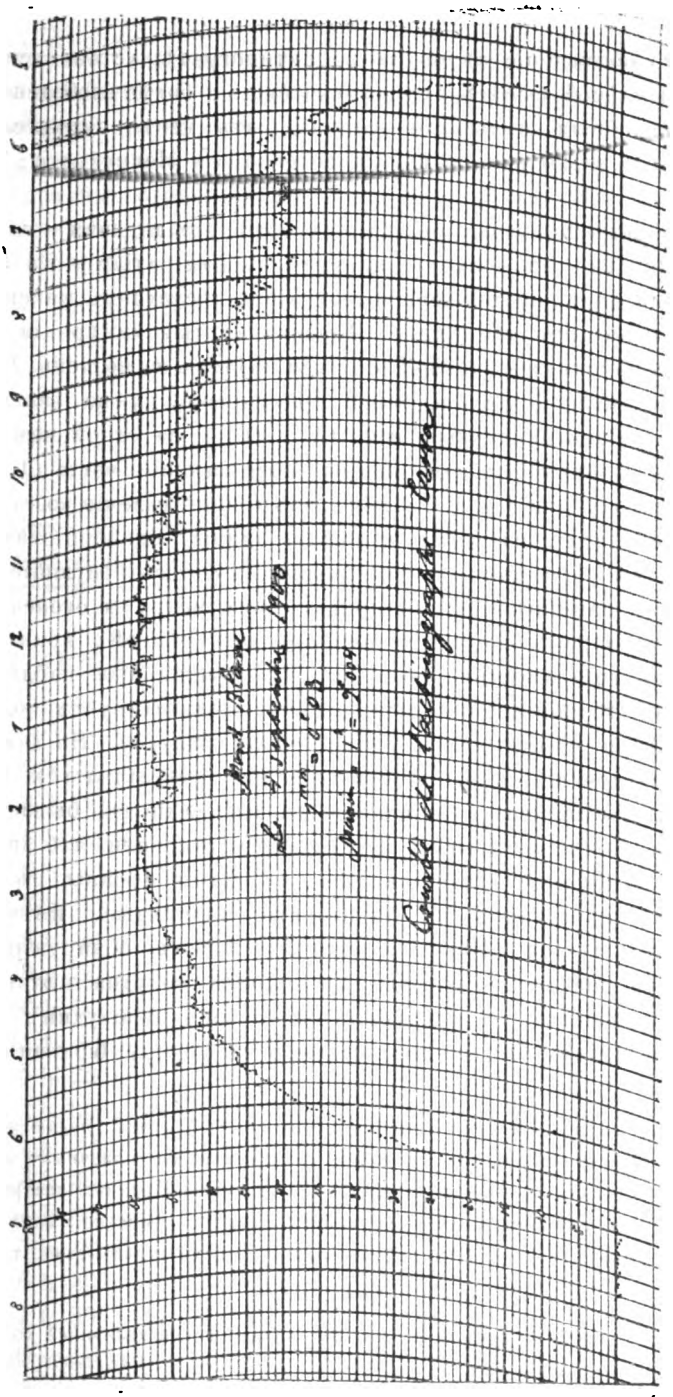
Фиг. 83.



Фиг. 84.

нечные лучи. Надъ нашимъ приборомъ, на пути солнечнаго луча, проносятся постоянно то болѣе влажныя, то болѣе сухія, то болѣе плотныя массы; на этомъ же пути, измѣняется содержаніе пыли.

Digitized by Google



Фиг. 85.

Digitized by Google

Если это объясненіе вѣрно, то на актинографѣ, установленномъ на значительной высотѣ, гдѣ воздухъ суше и болѣе свободенъ отъ пыли, подобныя пульсаціи должны быть менѣе значительны, какъ это и видно изъ сравненія фотограммъ Монпелье и Mont-Ventoux.

Въ ходѣ солнечной радіаціи существуетъ дневная и годовая періодичность: отъ восхода солнца солнечная радіація, въ ясный солнечный день, постепенно возрастаетъ, достигаетъ максимума и затѣмъ падаетъ къ заходу. Первоначальныя измѣренія показали, что максимумъ дневной радіаціи падаетъ на полдень. Чтобы выразить дневной ходъ радіаціи графически, нужно взять двѣ взаимно перпендикулярныя оси OX и OY; на одной изъ нихъ отложить, напримѣръ, сантиметры, выражающіе часы (1, 2, 3, 4 часа пополуночи и т. д.); затѣмъ, изъ точекъ дѣленія возставить перпендикуляры, на нихъ отложить длины, пропорціональныя солнечнымъ радіаціямъ, измѣреннымъ въ соотвѣтствующіе часы (принимая, напримѣръ, 0.1 калоріи=1 сантиметру) и оконечности перпендикуляровъ соединить непрерывной кривой; кривая эта выразитъ ходъ дневной радіаціи. Первоначальныя наблюденія показали, что наивысшая точка кривой соотвѣтствуетъ полудню и обѣ вѣтви симметричны относительно полудня. Но дальнѣйшія изслѣдованія дали нѣсколько иные результаты [1]). Crova въ Монпелье нашелъ, что максимумъ, въ среднемъ, бываетъ до полудня. Болѣе детальныя наблюденія установили, что дневной ходъ радіаціи еще болѣе сложенъ: въ лѣтніе мѣсяцы, съ утра, радіація возрастаетъ до нѣкотораго максимума, имѣющаго мѣсто до полудня (10 — 11 часовъ); затѣмъ обнаруживается нѣкоторое пониженіе къ полудню; послѣ полудня начинается новое повышеніе до максимума (2—3 часа пополудни), послѣ котораго радіація непрерывно падаетъ къ вечеру. Кривая радіа-

[1]) До сихъ поръ мы говорили о количествѣ лучей, падающихъ въ единицу времени на поверхность, перпендикулярную къ солнечнымъ лучамъ. Чтобы опредѣлить количество радіаціи J_1, получаемой однимъ квадратнымъ сантиметромъ *горизонтальной* поверхности, нужно, очевидно, измѣренную радіацію умножить на синусъ высоты солнца h надъ горизонтомъ, т. е.

$$J_1 = J \mathrm{Sin} h.$$

Эту часть радіаціи будемъ называть вертикальной составляющей солнечной радіаціи.

Digitized by Google

ціи имѣетъ, слѣдовательно, два максимума, раздѣленныхъ слабымъ минимумомъ. Въ осенніе мѣсяцы максимумы сближаются и сглаживаются, а къ зимѣ сливаются, такъ что въ ясный, холодный, безоблачный день, обѣ вѣтви кривой (восходящая и нисходящая) симметричны относительно полудня и наивысшая ихъ точка падаетъ на полдень. Вотъ, напримѣръ, наблюденія Crova въ Montpellier 15 іюля 1876 г.

5.1	ч.	пополноч.	0.45	калоріи	12.7	ч.	попълдн.	1.17 калоріи
5.9	»	»	0.82	»	2.1	»	»	1.18 »
6.4	»	»	0.93	»	3.5	»	»	1.12 »
7.5	»	»	1.06	»	5.1	»	»	0.86 »
7.9	»	»	1.09	»	6.3	»	»	0.70 »
10.4	»	»	1.21	»	6.8	»	»	0.45 »

Савельевъ въ Кіевѣ нашелъ слѣдующія числа для среднихъ напряженій солнечныхъ лучей:

ВРЕМЯ ДНЯ.	Іюнь	Іюль	Августъ	Сентябрь	Октябрь
отъ 3 h 30 m. до 4 h 30 m. пв.	0.06	0.03			
» 4 h 30 » » 5 h 30 » »	27	39	0.09		
» 5 h 30 » » 6 h 30 » »	33	60	44	0.03	
» 6 h 30 » » 7 h 30 » »	35	66	71	27	0.03
» 7 h 30 » » 8 h 30 » »	36	68	70	40	13
» 8 h 30 » » 9 h 30 » »	39	76	75	53	18
» 9 h 30 » » 10 h 30 » »	39	77	73	56	22
» 10 h 30 » » 11 h 30 » »	34	78	73	50	28
» 11 h 30 » » 0 h 30 » »	36	77	72	45	23
» 0 h 30 » » 1 h 30 » пд.	42	64	74	41	25
» 1 h 30 » » 2 h 30 » »	41	65	73	40	24
» 2 h 30 » » 3 h 30 » »	42	62	72	33	26
» 3 h 30 » » 4 h 30 » »	42	57	72	32	17
» 4 h 30 » » 5 h 30 » »	43	66	75	27	04
» 5 h 30 » » 6 h 30 » »	39	65	50	04	
» 6 h 30 » » 7 h 30 » »	35	48	09		
» 7 h 30 » » 8 h 30 » »	08	02			

Вертикальныя ихъ составляющія помѣщены въ слѣдующей таблицѣ:

Digitized by Google

ВРЕМЯ ДНЯ.	Іюнь	Іюль	Августъ	Сентябрь	Октябрь
отъ 3 h 30 m. до 4 h 30 m. a m.					
» 4 h 30 » » 5 h 30 » » »	0.03	0.05			
» 5 h 30 » » 6 h 30 » » »	09	17	0.09		
» 6 h 30 » » 7 h 30 » » »	17	29	23	0.00	
» 7 h 30 » » 8 h 30 » » »	22	41	34	13	0.02
» 8 h 30 » » 9 h 30 » » »	26	53	46	24	06
» 9 h 30 » » 10 h 30 » » »	31	61	52	31	09
» 10 h 30 » » 11 h 30 » » »	30	66	58	31	13
» 11 h 30 » » 0 h 30 » » »	31	65	57	29	11
» 0 h 30 » » 1 h 30 » » »	36	54	56	25	12
» 1 h 30 » » 2 h 30 » » »	33	52	51	22	11
» 2 h 30 » » 3 h 30 » » »	30	45	46	15	08
» 3 h 30 » » 4 h 30 » » »	25	35	34	11	03
» 4 h 30 » » 5 h 30 » » »	21	29	25	05	
» 5 h 30 » » 6 h 30 » » »	12	18	10		
» 6 h 30 » » 7 h 30 » » »	04	06	01		
» 7 h 30 » » 8 h 30 » » »					

Изъ этихъ чиселъ видно, что въ Кіевѣ, въ лѣтніе мѣсяцы, тепловое напряженіе солнечныхъ лучей достигаетъ своего главнаго максимума между 9 и 11 часами утра, въ среднемъ, около 10 час.; потомъ напряженіе ослабѣваетъ до 4 часовъ пополудни, вновь нѣсколько усиливается къ 5 часамъ, достигая въ это время своего второго максимума, и затѣмъ постепенно ослабѣваетъ до заката солнца. Болѣе правильны и ближе къ симметричности кривыя хода *вертикальной* составляющей теплового напряженія луча: здѣсь замѣчается одинъ только максимумъ въ среднемъ между 11 часами утра и полуднемъ. Въ общемъ, земля получаетъ до полудня лишь немного больше тепла, чѣмъ послѣ полудня.

Въ осенніе мѣсяцы вечерній максимумъ теплового напряженія солнечныхъ лучей уже не наблюдается; утренній же, остаю-

Digitized by Google

щійся единственнымъ, максимумъ значительно подвигается къ полудню и наблюдается около 11 ч. дня. Что касается суточнаго хода вертикальной составляющей теплового напряженія, то этотъ ходъ для осени почти таковъ же, какъ и лѣтомъ.

Въ отдѣльные ясные дни наблюдались слѣдующія наибольшія величины, средняго за 1 часъ, количества тепла, полученнаго кв. сант. горизонтальной поверхности въ 1 минуту, въ Кіевѣ:

27 іюля 1.04 калоріи въ полдень,
29 » 1.02 » » » .

Въ слѣдующей таблицѣ показаны среднія числа калорій для тѣхъ только часовъ, въ которые солнце не было закрыто облаками.

ВРЕМЯ ДНЯ.	Полное напряженіе въ среднемъ за 3 мѣсяца.		Вертикальная составляющая.							
									Въ среднемъ за 3 мѣсяца.	
	Лѣтомъ	Осенью	Іюнь	Іюль	Августъ	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	лѣтомъ	осенью
отъ 4 h 30 m. до 5 h 30 m.	0.61		0.08	0.08					0.07	
» 5 h 30 » » 6 h 30 »	82	0.15	26	25	0.10				22	
» 6 h 30 » » 7 h 30 »	95	63	56	43	28	0.12			38	0 04
» 7 h 30 » » 8 h 30 »	92	90	58	56	43	33	0.10		51	14
» 8 h 30 » » 9 h 30 »	95	93	65	69	57	46	22	0.11	63	23
» 9 h 30 » »10 h 30 »	95	1.00	72	79	63	60	33	22	72	38
»10 h 30 » »11 h 30 »	92	0.96	69	88	71	61	45	25	76	44
»11 h 30 » » 0 h 30 »	86	89	66	86	75	62	42	22	71	42
» 0 h 30 » » 1 h 30 »	84	93	63	73	69	60	40	27	69	42
» 1 h 30 » » 2 h 30 »	88	85	59	71	68	51	33	22	66	35
» 2 h 30 » » 3 h 30 »	87	81	53	67	58	38	24	11	59	24
» 3 h 30 » » 4 h 30 »	88	77	49	58	41	29	12		49	14
» 4 h 30 » » 5 h 30 »	85	63	35	39	30	13			35	04
» 5 h 30 » » 6 h 30 »	77	30	24	24	13				20	
» 6 h 30 » » 7 h 30 »	91		10	12	09				10	

Изъ обозрѣнія этой таблицы видно, что наибольшаго напряженія солнечные лучи достигаютъ лѣтомъ и осенью около

Digitized by Google

10 час. утра; затѣмъ напряженіе ослабѣваетъ, имѣя свой минимумъ около 1 часа лѣтомъ и около полудня осенью, и, наконецъ, вновь достигаетъ своего максимума около 3 час. дня лѣтомъ и около 1 часа дня осенью; этотъ выводъ изъ непрерывныхъ 6-тимѣсячныхъ наблюденій какъ нельзя лучше подтверждаетъ выводы проф. Крова относительно минимума напряженія солнечныхъ лучей около полудня, и показываетъ, что явленіе это отнюдь нельзя приписать морскому климату Монпелье.

Если сравнить напряженія или ихъ вертикальныя составляющія до полудня и послѣ полудня, то не трудно видѣть, что лѣтомъ до полудня солнечные лучи приблизительно на 10% интенсивнѣе, чѣмъ послѣ полудня; осенью эта разница гораздо меньше и не превосходитъ 3%.

Ходъ радіаціи въ Одессѣ можно видѣть изъ слѣдующихъ опредѣленій М. С. Панченко, произведенныхъ при помощи переноснаго актинометра Crova въ 1890 году:

	3 іюля	14 іюля
9 ч. 3′ утра	1.22	0.10
10 ч. 3′	1.35	1.05
11 ч. 3′	1.40	1.36
12 ч. 3′ дня	1.41	1.35
1 ч. 3′	1.41	1.35
2 ч. 3′	1.36	1.35
3 ч. 3′	1.24	1.21
4 ч. 3′	1.13	0.90
5 ч. 3′	0.90	
6 ч. 3′	0.61	
7 ч. 3′	0.22	

Наибольшія напряженія солнечной радіаціи въ Одессѣ найдены слѣдующія:

Въ 12 ч. 3′ пополудни 21 іюля 1890 года 1.42589 калоріи
» 12 ч. 3′ » 18 іюня 1891 » 1.42452 »
» 12 ч. 3′ » 13 іюля 1894 » 1.42869 » .

Chistoni въ Моденѣ нашелъ maximum радіаціи 1.43 кал. 13 августа 1902 года въ 11 ч. 22 м. утра.

Наибольшее напряженіе въ *полдень* въ Monpellier—1.6 кал. На Mont-Ventoux—1.9 (въ сент.).

На основаніи отчета Westmann'a, максимальная величина

Digitized by Google

солнечнаго напряженія на Шпицбергенѣ (80° с. ш.) равна 1.29 граммокалорій.

Савельевъ опредѣляетъ также количество калорій, полученныхъ въ Кіевѣ квадратнымъ сантиметромъ земной поверхности, въ теченіе всего дня.

Числа мѣсяцевъ.	Число малыхъ калорій, полученныхъ ежедневно кв. сант. горизонт. поверхности земли.						Продолжительность сіянія солнца въ часахъ.					
	Іюнь	Іюль	Августъ	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Іюнь	Іюль	Августъ	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
1		502	305	?	138			15.3	9.3	?	9.1	
2		463	397	?	185			15.1	12.7	?	10.8	
3		341	449	?	70			11.8	14.4	?	3.5	
4	50	72	385	?		10	4.8	4.5	12.9	?		1.0
5	55	527	398	111	41		4.1	15.0	13.1	5.8	3.7	
6	133	495	386	13			5.4	13.0	11.0	1.2		
7	97	506	254				3.7	15.3	8.6			
8	92	248	382	78			5.2	6 3	11.4	4.0		
9	50	16	173				2.1	0.6	6.8			
10	64	35	45				4.2		2.0			
11	175	78	248				6.8	3.5	13.6			
12	414	406	278		32		12.1	13.7	12.0		2.0	
13	301	484	283				8.8	15.2	13.5			
14	219	433	113	25			7.1	15.0	7.6	1.0		
15	383	400	164	25			12.0	14.2	6.9	3.7		
16	17	314	177		161	9		14.3	8.7		8.5	1.4
17	21	382	371	257	38	2	2.0	14.7	10.9	8.8	2.8	0.3
18	442	482	425	163	5		12.3	15.0	13.2	5.2	0.3	
19	293	427	392	355			10.3	13.9	13.5	11.4		
20	413	418	374	302		77	10.9	13.3	13.5	8.9		5.5
21	154	283	323	304			5.6	10.6	12.4	11.7		
22	445	315	64	295	47		12.3	10.8	4.1	11.7	3.2	
23	328	74	209	290			10.3	3.3	4.3	11.5		
24	38	427	389	325	190		2.8	9.5	12.9	11.4	9.5	
25	81	338	255	276	194		3.6	6.9	11.7	11.3	9.3	
26	115	166	268	140		28	6.0	5.8	13.2	8.0		2.4
27	145	505	359	14	30		6.2	12.5	8.5	6.0	3.3	
28	160	506	229	101	154		6.2	12.3	12.8	5.0	9.3	
29	316	475	418	115			11.1	14.6	12,7	4.9		
30	388	233	439	103			16.3	5.5	12.8	5.8		
31		304	327		115			10.0	9.7		5.7	
среднее	199	345	296	127	45	4	7.2	10 3	10.6	5.1	2.6	0.4

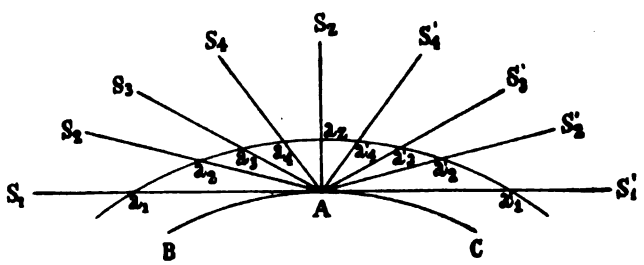
Digitized by Google

Crova, изъ трехлѣтнихъ наблюденій (1883—85) въ Монпелліе, нашелъ слѣдующее количество калорій, полученныхъ квадр. сантиметромъ горизонтальной земной поверхности:

зима . . .	7482	калоріи
весна . . .	21281	»
лѣто . . .	28858	»
осень . . .	15605	»
годъ . . .	73226	»

Савельевъ, въ Кіевѣ, для лѣта (іюнь—августъ) 1890 года, нашелъ 25841 кал. Почти такое же количество найдено Crova для 1886 года (26678 кал.).

Объясненіе дневного хода радіаціи. Дневной ходъ радіаціи объясняется неодинаковымъ поглощеніемъ солнечныхъ лучей въ атмосферѣ въ различные часы дня. Пусть (фиг. 86).



Фиг. 86.

BAC—земная поверхность,

S_1AS_1'—горизонтъ мѣста наблюденія A,

$a_1a_2a_1'$—метеорологическій предѣлъ атмосферы,

S_z—зенитъ мѣста наблюденія.

Когда солнце находится въ зенитѣ, то лучи его, прежде чѣмъ достигнуть мѣста наблюденія A, должны пройти черезъ толщу атмосферы Aa_z. По мѣрѣ уменьшенія высоты солнца надъ горизонтомъ, масса атмосферы, лежащая на пути луча, постепенно увеличивается (Aa_4, Aa_3, Aa_2, Aa_1); вслѣдствіе этого, увеличивается поглощеніе и ослабѣваетъ радіація. Если бы атмосфера была совершенно однородна или состояла изъ одно-

Digitized by Google

родныхъ концентрическихъ слоевъ, то поглощеніе обусловливалось бы исключительно высотой солнца надъ горизонтомъ, т. е. часами дня; напряженія въ часы дня, равно отстоящіе отъ полудня, были бы одинаковы и вся кривая дневного хода радіаціи была бы симметрична относительно полудня, съ однимъ максимумомъ въ полдень. Но атмосфера неоднородна: въ ней постоянно находится перемѣнное количество паровъ и пыли; поэтому, поглощеніе лучей во всей ея толщѣ, а слѣдовательно, и напряженіе солнечной радіаціи, перестаетъ быть симметричнымъ относительно полудня, и максимумъ не совпадаетъ съ прохожденіемъ солнца черезъ меридіанъ. Съ утра, высота солнца возрастаетъ, масса атмосферы, лежащей на пути солнечнаго луча, постепенно уменьшается, и напряженіе радіаціи увеличивается. Но, съ другой стороны, по мѣрѣ поднятія солнца надъ горизонтомъ, возрастаетъ количество паровъ въ атмосферѣ. Хотя въ полдень путь солнечныхъ лучей наиболѣе коротокъ, но лучи, на этомъ пути, встрѣчаютъ больше паровъ, чѣмъ до полудня; пары увеличиваютъ поглощательную способность воздуха и, въ общемъ, къ полудню можетъ наступить ослабленіе радіаціи. Послѣ полудня, мало по малу, ослабѣваютъ восходящіе токи, подымающіе вверхъ водяные пары и радіація вновь можетъ возрасти до второго максимума. Но, къ осени и къ зимѣ, полуденная депрессія выравнивается и зимою мы имѣемъ кривую радіаціи съ однимъ только максимумомъ. Въ ясный, зимній, безоблачный день кривая радіаціи выражается кривой, симметричной относительно полудня, какъ это видно изъ наблюденій Савельева въ Кіевѣ. Нужно замѣтить, что масса атмосферы не можетъ быть измѣрена ариѳметически длиной линій $Aa_1 \ldots Aa_5$. Масса эта измѣряется болѣе сложной функціей. Ламбертъ далъ, для измѣренія массы атмосферы пройденной лучемъ, слѣдующую формулу

$$m = \sqrt{h^2 + 2rh + r^2 \cos^2 z} - r \cos z,$$

гдѣ h—высота атмосферы, принятая за единицу,

» r—радіусъ земли,

» z—зенитальное разстояніе солнца въ моментъ наблюденія.

Другіе изслѣдователи пользуются формулой:

$$m = m_0 \sec z,$$

Digitized by Google

гдѣ z имѣетъ только что указанное значеніе, а m_0—масса атмосферы по вертикальному направленію [1]).

Годовой ходъ радіаціи. Въ явленіи солнечной радіаціи долженъ существовать также *годовой* ходъ. Въ различныя времена года полуденныя высоты солнца различны; продолжительность пребыванія солнца надъ горизонтомъ также измѣняется отъ лѣта къ зимѣ. *Годичный* періодъ хода можетъ выразиться, поэтому, измѣненіемъ въ полуденномъ напряженіи солнечныхъ лучей, а также въ увеличеніи общей дневной суммы радіаціи отъ зимы къ лѣту. Въ полуденные часы зимою солнце ниже, чѣмъ лѣтомъ; но въ зимніе мѣсяцы въ атмосферѣ содержится меньше паровъ, чѣмъ лѣтомъ; а поэтому, a priori можно сказать, что полуденныя напряженія радіаціи не должны особенно разниться другъ отъ друга. И дѣйствительно, изъ 11-лѣтнихъ наблюденій Crova въ Монпеллье:

январь . . .	1.03	іюль	1.11
февраль . . .	1.06	августъ . . .	1.07
мартъ. . . .	1.10	сентябрь. . .	1.08
апрѣль . . .	1.12	октябрь . . .	1.04
май	1.16	ноябрь . . .	1.05
іюнь	1.11	декабрь . . .	0.98
	годъ . . .	1.08.	

---

[1]) Формулу $m = m_0 Sec z$ можно обосновать теоретически. Положимъ, что атмосфера раздѣлена на безконечно тонкіе слои, параллельные земной поверхности; пусть dm будетъ масса безконечно тонкаго слоя воздуха по нормальному направленію; тогда лучъ, наклонный подъ угломъ Θ, пройдетъ массу $dm Sec\Theta$; масса, проходимая вертикальнымъ лучемъ черезъ всю толщу атмосферы будетъ m, а масса m', проходимая наклонно лучемъ:

$$m' = \int_0^m Sec\Theta dm.$$

Уголъ Θ на земной поверхности очевидно равенъ зенитному разстоянію z, слѣдовательно,

$$m' = m Sec z.$$

На практикѣ это выраженіе вполнѣ достаточно для зенитныхъ разстояній отъ 0° до 70°. Вычисленныя по этимъ формуламъ массы имѣютъ слѣдующія значенія:

высота солнца . .	0°	5°	10°	20°	30°	50°	70°	90°
масса воздуха, пройденная лучомъ.	35.5	10.2	5.56	2.90	1.99	1.31	1.06	1.00

Digitized by Google

Пятилѣтнія наблюденія въ Павловскѣ:

январь. . . .	0.94	іюль	1.25
февраль . . .	1.13	августъ . . .	1.22
мартъ	1.29	сентябрь . . .	1.28
апрѣль. . . .	1.36	октябрь . . .	1.14
май	1.30	ноябрь. . . .	1.02
іюнь	1.28	декабрь . . .	0.85
	годъ . . .	1.17.	

замѣчательно, что *годовой* ходъ обнаруживаетъ тѣ же черты, что и дневной ходъ, т. е. два слабыхъ максимума: одинъ до лѣтняго солнцестоянія (апрѣль и май) и другой слабѣе—послѣ лѣтняго солнцестоянія (сентябрь). Въ отдѣльные годы возможны колебанія въ болѣе широкихъ предѣлахъ; напримѣръ, въ Кіевѣ въ 1888 году максимумъ (1.37 кал.) былъ въ началѣ марта, а минимумъ (1.13 кал.) въ концѣ ноября. Іюльскій слабый минимумъ, въ среднихъ числахъ мѣсяца, объясняется увеличеніемъ количества паровъ въ воздухѣ подъ вліяніемъ высокихъ температуръ и сильныхъ восходящихъ токовъ.

Общая сумма тепла, получаемаго въ теченіе всего года однимъ квадратнымъ сантиметромъ поверхности, выражается слѣдующими числами:

	нормально	на горизонт. пов.	
Кіевъ	—	60745	граммокал.
Варшава [1])	86350	50920	»
Монпелье	—	71820	»
Treurenberg-Bay (79°55′ с. ш.) . . .	53610	16820	»

Измѣненіе радіаціи съ высотою. Если, съ актинометромъ въ рукахъ, мы будемъ подниматься надъ земной поверхностью, то толщина поглощающаго слоя, остающагося у насъ надъ головою, будетъ постепенно уменьшаться, а слѣдовательно, напряженіе радіаціи должно увеличиваться. Это возрастаніе радіаціи съ высотою, съ качественной стороны, давно извѣстно. При од-

[1]) Gorczyński. Sur les sommes de la chaleur pour Varsovie, Treurenberg et Montpellier. Montpellier. 1906.

Digitized by Google

номъ изъ поднятій на гору Whytney (3544 метра), вода, находившаяся въ вычерненномъ мѣдномъ сосудѣ, закрытомъ двумя пластинками стекла, закипѣла, въ то время, какъ кругомъ господствовала весьма низкая температура. Въ настоящее время имѣются многочисленныя наблюденія на горахъ. Наблюденія Violle'я 16 августа 1875 года въ 10 ч. 22′ утра:

		J
вершина Монблана . . .	4.810 метровъ	2.392 калоріи
Боссонскій глетчеръ. . .	1.200 »	2.022 »
разность	3.610 »	0.370 »
уменьшеніе на 1000 метровъ		0.103 »

19 авг. 1896 года (Crova и Houdaille):

Grands-mulets	3.020 метровъ	1.497 »
Chamounix	1.050 »	1.242 »
разность	1.970 »	0.255 »
уменьшеніе на 1000 метровъ		0.129 »

Angström нашелъ слѣдующія числа при различныхъ толщинахъ атмосферы:

толщина слоя . . .	1	2	3	4	5	6
Guimar . . . . . (360 метровъ)	1.39	1.17	1.03	1.92	0.82	0.73
le Canada. . . . . (2125 метровъ)	1.51	1.33	1.20	1.09	1.00	—
Pic de Teneriffa. . . (3683 метра)	1.54	1.37	1.24	1.14	1.05	0.97

	Средн.	Max.
Vallot на вершинѣ Монблана (4810 м.) нашелъ	1.437	1.56
въ Chamounix (1050) »	1.172	1.33
разность . . 3760	0.265	

Въ іюнѣ и іюлѣ 1902 года были произведены F. Exner'омъ наблюденія на Sonnblick'ѣ при помощи прибора Angström'а. Изъ этихъ наблюденій получены слѣдующія среднія числа для отдѣльныхъ часовъ:

7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7
1.32	1.44	1.52	1.57	1.60	1.59	1.56	1.54	1.48	1.46	1.36	1.24	0.98

Digitized by Google

Максимумъ лежитъ между 11 и 12 часами. Интересно сравнить наблюденія на Sonnblick'ѣ (3106 м.) и наблюденія на Teneriff'ѣ (3252 м.)[1]:

высота солнца	Sonnblick	(бар. 510 мм.) толщ. слоя	Teneriffa	(бар. 518 мм.) толщ. слоя	Разн.
10°	1.10	3.75	1.156	3.79	0.06
20	1.28	1.95	1.370	1.98	0.09
30	1.39	1.37	1.468	1.359	0.08
40	1.47	1.06	1.527	1.059	0.06
50	1.53	0.89	1.565	0.889	0.04
60	1.58	0.79	1.583	0.787	0.00
70	1.60	0.73	1.595	0.725	0.00

Rizzo, въ сентябрѣ 1897 года, на Monte Rosa:

Мѣсто наблюденія	Monpantero	Trucco	Casa d'Asti	Roccia Melone
высота въ метрахъ.	501	1722	2834	3537
радіація	1.61	1.98	2.09	2.13
давленіе воздуха въ мм.	722	622	544	499

разность крайнихъ высотъ . . . . 3036 метровъ
» » радіацій . . . 0.52 калоріи
уменьшеніе на 1000 метровъ . . . 0.17 »

Станкевичъ[2], на Памирѣ въ іюнѣ 1900 года, на высотѣ 4200—4600 метровъ, нашелъ въ полдень 2.0 калоріи.

Въ заключеніе, приведемъ числа, показывающія максимумъ радіаціи около полудня:

Cap Horn.	55°31′ ю. ш.	1.47	мал. кол.	(январь)
Teneriffa	28°00′ с. ш.	1.42	» »	(іюль)
Montpellier	43°36′ » »	1.60	» »	(августъ)
Кіевъ	50°24′ » »	1.39	» »	(май)
Hald	56°23′ » »	1.32	» »	(іюль)
Екатеринбургъ. . .	56°50′ » »	1.58	» »	(апрѣль)
Павловскъ	59°41′ » »	1.44	» »	(апрѣль)
Upsala.	59°51′ » »	1.36	» »	(іюль)
Treurenberg	79°55′ » »	1.29	» »	(іюль).

[1]) Meteor. Zeitschrift. 1903, S. 409—410.

[2]) Станкевичъ. Актинометрическія наблюденія на Памирѣ лѣтомъ 1900 года. Варшава. 1902.

Digitized by Google

Методы опредѣленія солнечной постоянной. Какъ велика *солнечная постоянная*, т. е. какъ велико то количество энергіи, которое солнце посылаетъ въ 1 минуту на каждый квадратный сантиметръ нормальной къ лучамъ поверхности на *границѣ атмосферы*? Къ приблизительному рѣшенію этихъ вопросовъ можно подойти двумя путями. Извѣстно, что поглощеніе солнечной радіаціи происходитъ, главнымъ образомъ, въ низшихъ слояхъ земной атмосферы, такъ какъ главной поглощающей и разсѣивающей средой являются водяные пары и пыль. Въ виду этого, если мы произведемъ одновременныя актинометрическія наблюденія у земной поверхности и на значительной высотѣ, то разность одновременныхъ отсчетовъ дастъ намъ количество энергіи, поглощенной въ слоѣ воздуха, лежащемъ между верхней и нижней станціей. Полученное число дастъ намъ низшій предѣлъ искомаго поглощенія. Конечно, это опредѣленіе будетъ только приблизительное и тѣмъ ближе къ истинному, чѣмъ выше выдвинута верхняя станція. Опредѣленія на воздушныхъ шарахъ могли бы дать лучшіе результаты. Другой способъ основанъ на экстраполяціи эмпирическихъ формулъ.

Сущность экстраполяціи. Въ наблюдательныхъ наукахъ нерѣдко приходится имѣть дѣло съ двумя рядами факторовъ или съ двумя рядами явленій, связанныхъ между собою функціонально. Каждое изъ чиселъ, выражающихъ первый рядъ, зависитъ отъ соотвѣтствующаго числа второго ряда; напримѣръ, упругость насыщенныхъ водяныхъ паровъ зависитъ отъ температуры (упругость паровъ есть функція температуры) или температура почвы на различныхъ глубинахъ, лежащихъ ниже слоя постоянной температуры, зависитъ отъ глубины и т. под. Но истинная форма зависимости намъ неизвѣстна. Въ этихъ случаяхъ подыскиваютъ такую формулу, которая бы давала результаты, наиболѣе близкіе къ дѣйствительнымъ. Остается только изъ наблюденій вычислить ея постоянные коэффиціенты. Остановимся на частномъ примѣрѣ. Въ буравой скважинѣ, въ Шперембергѣ близъ Берлина, на различныхъ глубинахъ найдены слѣдующія температуры:

глубина	температура по R.
700 футовъ	17°.275
900 »	18 .780

Digitized by Google

глубина	температура по R.
1100 футовъ	21°.147
1300 »	21.510
1500 »	23.277
1700 »	24.741
1900 »	26.504
2100 »	28.668
3390 »	37.238.

Было предложено нѣсколько эмпирическихъ формулъ для аналитическаго выраженія этого ряда. Если черезъ h обозначимъ какую-нибудь глубину, а черезъ T—температуру почвы на глубинѣ h, то Dunker выражаетъ зависимость между T и h слѣдующей формулой:

$$T=a+bh+ch^2.$$

Позже онъ далъ этой формулѣ другой видъ:

$$T=A+B(h-700)+C(h-700)^2, \qquad (1)$$

гдѣ a, b, c, A, B, C должны быть вычислены изъ наблюденій. Тѣ же температуры могутъ быть выражены по Heinrich'у другой формулой:

$$T=a+bh.$$

По примѣненію къ Шперембергскимъ наблюденіямъ, эти формулы принимаютъ слѣдующій видъ [1]):

$$T=17.503+0.006691607(h-700)-0.000000786607(h-700)^2$$

$$T=12.273+0.00744925\,h,$$

гдѣ h—глубина въ футахъ.

---

[1]) Для вычисленія этихъ постоянныхъ, разсуждаемъ слѣдующимъ образомъ. Формула (1) должна быть справедлива для каждой пары наблюденій а потому, если въ формулу эту, вмѣсто h, вставимъ измѣренныя глубины, а вмѣсто T—соотвѣтствующія этимъ глубинамъ температуры, то уравненіе (1) будетъ удовлетворено. Такимъ образомъ получимъ столько уравненій, сколько сдѣлано наблюденій. Въ данномъ случаѣ, получимъ 9 уравненій съ тремя неизвѣстными A, B и C. Теорія вѣроятностей даетъ общій пріемъ для рѣшенія подобныхъ уравненій въ томъ случаѣ, когда число уравненій превышаетъ число неизвѣстныхъ. Приведемъ здѣсь только самый пріемъ рѣшенія подоб-

Digitized by Google

Полученную, такимъ образомъ, эмпирическую формулу можно разсматривать какъ приблизительное *аналитическое* выраженіе закона повышенія температуры съ глубиною. Помощью этой формулы можно вычислить всѣ промежуточныя значенія явленія, для которыхъ не были найдены непосредственныя значенія изъ наблюденій. Напримѣръ, въ данномъ случаѣ, мы можемъ опредѣлить температуру черезъ каждый метръ или черезъ каждые 10 метровъ и т. д. Если формула выбрана удачно, то разность между вычисленной и непосредственно наблюденной величиной не должна превышать извѣстнаго предѣла. Напримѣръ, въ данномъ примѣрѣ, получаются слѣдующія температуры на различныхъ глубинахъ:

№	Глубина	Наблюдено	Вычислено по формулѣ Dunker'a.	Вычислено по формулѣ Heinrich'a.
1	700	17°.275	17°.275	17°.487
2	900	18°.780	18°.866	18°.977
3	1100	21°.147	20°.440	20°.467
4	1300	21°.510	21°.998	21°.957
5	1500	23°.277	23°.540	23°.446
6	1700	24°.741	25°.066	24°.936
7	1900	26°.504	26°.575	26°.426
8	2100	28°.668	28°.069	27°.916
9	3390	37°.238	37°.309	37°.525

ной задачи. Для этого нужно каждое изъ уравненій умножить на коэффиціентъ, стоящій у перваго неизвѣстнаго въ этомъ уравненіи, и всѣ уравненія сложить. Получимъ первое нормальное уравненіе съ тремя неизвѣстными A, B и C. Затѣмъ каждое уравненіе умножить на коэффиціентъ, стоящій у второго неизвѣстнаго въ этомъ уравненіи, и всѣ уравненія сложить; получимъ второе нормальное уравненіе съ тѣми же неизвѣстными A, B и C и т. д. Въ данномъ случаѣ составимъ три нормальныхъ уравненія съ тремя неизвѣстными, изъ которыхъ вычислимъ три неизвѣстныя A, B и C. Выполнивъ на самомъ дѣлѣ всѣ указанныя дѣйствія, найдемъ искомыя значенія для A, B и C.

Digitized by Google

При этомъ, необходимо имѣть въ виду, что всякая эмпирическая формула годится только въ тѣхъ предѣлахъ, въ которыхъ были произведены непосредственныя наблюденія, послужившія основаніемъ для вычисленія постоянныхъ коэффиціентовъ. Въ данномъ случаѣ, по формуламъ Dunker'a и Heinrich'a, можно вычислять температуры для глубинъ, непревышающихъ глубины Шперембергской скважины, т. е. 3390 футовъ. Но иногда примѣняютъ эмпирическія формулы за предѣлы ихъ годности. Такое примѣненіе называется *экстраполяціей* формулы. Если мы, по формулѣ (1), станемъ вычислять температуры на глубинахъ 5000, 8000 и болѣе футовъ, то будемъ *экстраполировать* нашу формулу. Нетрудно показать, что къ результатамъ экстраполяціи нужно относиться съ величайшей осторожностью. И дѣйствительно, если станемъ экстраполировать наши формулы и найдемъ температуры на глубинахъ, превышающихъ 3390 футовъ, то получимъ результаты совершенно расходящіеся. По формулѣ Heinrich'a, температура съ глубиною непрерывно возрастаетъ. Между тѣмъ, по формулѣ Dunker'a, температура съ глубиною первоначально возрастаетъ; на нѣкоторой глубинѣ она достигаетъ максимума, а затѣмъ, падаетъ до нуля, а далѣе переходитъ въ отрицательную сторону шкалы. Сущность экстраполяціи можно себѣ представить геометрически слѣдующимъ образомъ: по данному небольшому куску кривой требуется найти графически ея продолженіе. Если данный кусокъ кривой невеликъ, то, на этомъ небольшомъ протяженіи, наша кривая можетъ сливаться съ дугою многихъ другихъ кривыхъ (круга, параболы и т. под.); но, при дальнѣйшемъ своемъ ходѣ, эти кривыя разойдутся. Очевидно, что чѣмъ короче данный кусокъ, тѣмъ труднѣе найти истинное его продолженіе, тѣмъ ненадежнѣе, слѣдовательно, результаты экстраполяціи. Солнечная постоянная можетъ быть опредѣлена только путемъ *экстраполяціи*.

Формулы Вугера и Віолля. Мы уже сказали, что напряженіе солнечной радіаціи измѣняется въ различные часы дня въ зависимости отъ массы атмосферы, пройденной лучами. Пусть напряженія радіаціи въ различные часы дня будутъ J_1, J_2, J_3, а соотвѣтствующія массы атмосферы, пройденныя лучами, въ тѣ же часы—m_1, m_2, m_3. Эти два ряда чиселъ можно связать формулой. Чаще всего примѣняется формула Bouguer'a. Если напряженіе радіаціи въ извѣстный моментъ равно J, а соотвѣт-

Digitized by Google

ствующая этому моменту масса атмосферы, пройденная лучами, равна m, то

$$J = Ap^m,$$

гдѣ A и p—постоянныя величины, которыя должны быть найдены изъ наблюденій [1]). Постоянныя A и p въ формулѣ Bouguer'а имѣютъ опредѣленный физическій смыслъ. Будемъ постепенно уменьшать массу m и сдѣлаемъ ее, наконецъ, равной нулю, тогда $J = A$, т. е. A есть то количество тепла, которое посылаетъ солнце на каждый квадратный сантиметръ поверхности въ одну минуту на *границѣ* атмосферы. Число A называютъ солнечной постоянной. Чтобы дать физическое толкованіе постоянной p, примемъ за единицу массу атмосферы по вертикальному направленію и будемъ давать числу p различныя значенія $p = 1, 2, 3, 4, \ldots$; тогда

$$J = Ap^1,\ Ap^2,\ Ap^3,\ Ap^4, \ldots;$$

---

[1]) Формула эта вытекаетъ изъ слѣдующаго положенія Bouguer'а: элементарный слой воздуха поглощаетъ количество энергіи, пропорціональное массѣ проходимаго слоя и величинѣ самаго напряженія. Если напряженіе луча J, масса атмосферы—m, а нѣкоторый постоянный коэффиціентъ α, то

$$dJ = \alpha J dm$$

$$\int \frac{dJ}{J} = \alpha \int dm$$

$$\log J = \alpha m + \log A$$

$$J = Ae^{-\alpha m},$$

гдѣ m есть масса атмосферы по вертикальному направленію отъ предѣловъ ея до данной высоты. У предѣловъ атмосферы $m = 0$ и

$$J = A_0.$$

Если солнце находится не въ зенитѣ, а на разстояніи z отъ зенита, то

m переходитъ въ $m\,Sec\,z$

и $J = Ae^{-\alpha m\,Sec\,z}$;

обозначая $e^{-\alpha} = p$,

$$J = Ap^{m\,Sec\,z},$$

т. е. формула Bouguer'а.

Digitized by Google

изъ чего видно, что постоянная p есть коэффиціентъ проходимости или прозрачности лучей при прохожденіи ихъ чрезъ слой равный единицѣ (т. е. число, показывающее, какая часть солнечной энергіи проходитъ, по вертикальному направленію, чрезъ всю толщу атмосферы). Отсюда видно, что, для рѣшенія поставленной выше задачи о поглощеніи лучей во всей толщѣ атмосферы, нужно, въ возможно ясные, спокойные и безоблачные дни, опредѣлять радіаціи J_1, J_2, J_3,..., при различныхъ высотахъ солнца надъ горизонтомъ, т. е. при различномъ значеніи массъ воздуха, пройденныхъ солнечными лучами. Изъ ряда этихъ наблюденій, по способу наименьшихъ квадратовъ, вычисляютъ постоянныя A и p. Чѣмъ воздухъ свободнѣе отъ факторовъ, вносящихъ различныя пертурбаціи въ ходъ поглощенія, тѣмъ наблюденія будутъ надежнѣе. Въ виду этого, огромное значеніе, для точнаго опредѣленія A и p, имѣютъ наблюденія на горахъ и на воздушныхъ шарахъ, такъ какъ на высотѣ воздухъ свободнѣе отъ водяныхъ паровъ и пыли, вносящихъ указанныя пертурбаціи. Хорошіе результаты могутъ также дать наблюденія, въ зимніе мѣсяцы, въ Сибири, гдѣ воздухъ бѣденъ водяными парами и весьма прозраченъ. Pouillet изъ своихъ наблюденій нашелъ, что

$$J=1.76(0.75)^p,$$

а слѣдовательно, солнечная постоянная равна 1.76 калоріи, а коэффиціентъ прозрачности 0.75, т. е. изъ пучка, пришедшаго на границу атмосферы, по вертикальному направленію проходитъ 75%, а 25% теряется въ атмосферѣ. Дальнѣйшія наблюденія дали для солнечной постоянной числа, отличающіяся отъ числа Pouillet. Кромѣ того, формула Bouguer'a оказалась недостаточной. Формула эта предполагаетъ нѣкоторое среднее или нормальное метеорологическое состояніе атмосферы; между тѣмъ, поглощеніе въ атмосферѣ, очевидно, зависитъ отъ давленія, содержанія паровъ и т. под. Въ виду этого, Violle вводитъ въ формулу членъ, зависящій отъ состоянія метеорологическихъ факторовъ въ моментъ наблюденія, и даетъ ей слѣдующій видъ:

$$J=Ap^{\frac{H+(h-h_1)kf}{760}m}$$

Digitized by Google

гдѣ H—давленіе воздуха,

» h—предѣльная высота распространенія паровъ,

» h_1—высота точки наблюденія,

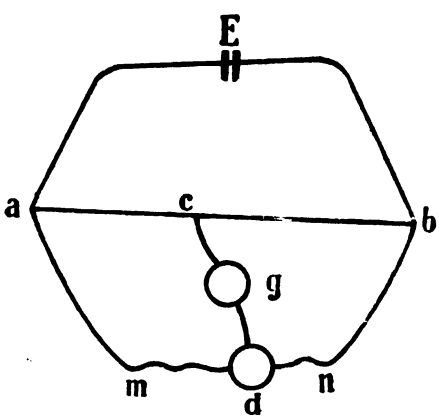
» k—постоянный коэффиціентъ (по Violle'ю $k=0.48$),

» f—средняя упругость водяныхъ паровъ въ слоѣ $h—h_1$ (по Violle'ю $h—h_1=4810$).

Существуютъ еще и другія формулы. Но всѣ эти формулы допускаютъ, что изслѣдуемый пучекъ радіаціи однороденъ или, по крайней мѣрѣ, всѣ лучи, входящіе въ составъ его, имѣютъ одинаковый коэффиціентъ прозрачности p. На самомъ же дѣлѣ, атмосфера наша обладаетъ *избирательной* поглощательной способностью. Лучи различныхъ преломляемостей поглощаются неодинаково; въ виду этого, мы будемъ ближе къ истинѣ, если формулѣ Bouguer'a дадимъ слѣдующій видъ:

$$J=A_1p_1^m+A_2p_2^m+A_3p_3^m+\ldots=\Sigma Ap^m,$$

гдѣ p_1, p_2, p_3,... коэффиціенты прозрачности лучей различной преломляемости. Конечно, рѣшеніе вопроса, въ самомъ общемъ видѣ, невозможно; тѣмъ не менѣе, значительные успѣхи сдѣланы и въ этомъ направленіи. Чтобы опредѣлить p_1, p_2, p_3, p_4, для различныхъ преломляемостей, необходимо было имѣть приборъ, помощью котораго можно было бы наблюдать напряженіе не всей совокупности солнечнаго пучка, а отдѣльныхъ его составныхъ частей. Такой приборъ названъ *болометромъ*. Ограничимся здѣсь лишь указаніемъ идеи, лежащей въ основѣ болометра [1]). Въ физикѣ доказывается важная теорема, относящаяся къ одному частному случаю развѣтвленія токовъ, извѣстнаго подъ названіемъ моста Whytston'a. Этотъ случай представленъ схематически на фиг. 87.



Фиг. 87.

[1]) S. P. Langley. Researches on solar heat. Chap. XI, p. 129.

Digitized by Google

E представляетъ баттарею, отъ которой идутъ проволоки, развѣтвляющіяся въ точкахъ *a* и *b* такъ, что точки эти оказываются соединенными двумя проволоками *acb* и *adb*. Двѣ точки *c* и *d* этихъ двухъ проволокъ соединены проволокою *cd*, въ которую включенъ чувствительный гальванометръ *g*; она то и называется мостомъ. Обозначимъ символами (ac), (cb), (ad), (db) сопротивленія четырехъ, такъ называемыхъ, «вѣтвей» *ac*, *cb*, *ad* и *db*. Теорія показываетъ, что *сила тока въ мостѣ равна нулю, когда четыре сопротивленія вѣтвей удовлетворяютъ условію*:

$$(ac):(cb)=(ad):(db). \qquad (2)$$

Болометръ представляетъ весьма тонкую вычерненную металлическую проволоку или полоску, введенную въ одну изъ вѣтвей моста Витстона и помѣщаемую на пути потока лучистой энергіи. Положимъ, что сначала лучи не падаютъ на болометръ, и что сопротивленія вѣтвей выбраны такъ, чтобы пропорція (2) была удовлетворена; тогда гальванометръ *g* указываетъ на отсутствіе тока въ мостѣ. Если теперь дать лучамъ доступъ къ болометру, то его вычерненная поверхность поглотитъ падающую на нее лучистую энергію, вслѣдствіе чего тонкая проволочка или полоска нагрѣется. При нагрѣваніи увеличится сопротивленіе ея, т. е. одинъ изъ четырехъ членовъ пропорціи (2) возрастетъ; сопротивленія четырехъ вѣтвей перестаютъ, слѣд., удовлетворять этой пропорціи, а потому, сила тока въ мостѣ уже не будетъ равна нулю, и въ гальванометрѣ *g* обнаружится отклоненіе магнитной стрѣлки, величина котораго послужитъ мѣрою измѣненія сопротивленія болометра, т. е. мѣрою его нагрѣванія, а слѣд., и той лучистой энергіи, потокъ которой падалъ на болометръ.

Величина солнечной постоянной. Актинометрическія наблюденія, произведенныя до настоящаго времени, дали слѣдующія значенія для *солнечной постоянной*:

Pouillet (Парижъ)	1.5—1.76	калоріи въ 1 мин.
Violle (Монбланъ)	2.5	» » » »
Rizzo (Сицилія)	2.5 (1.63—2.75)	» » » »
Langley (Mount Whitney) . .	3.0 (2.5—4.0)	» » » »
Савельевъ (Кіевъ)	2.81—3.4	» » » »

Digitized by Google

Bartoli и Straciati	2.4--2.6	калоріи въ 1 мин.
Crova (Монпелье)	2.2 (1.8—2.7)	» » » »
Crova и Houdaille (Mont-Ventoux).	2.4 (1.97—2.9)	» » » »
Ганскій (Монбланъ)	3.0—3.4	» » » »
Angström	2.76	» » » »

Наиболѣе вѣроятной величиной солнечной постоянной, въ настоящее время, можно считать 3.0 калоріи.

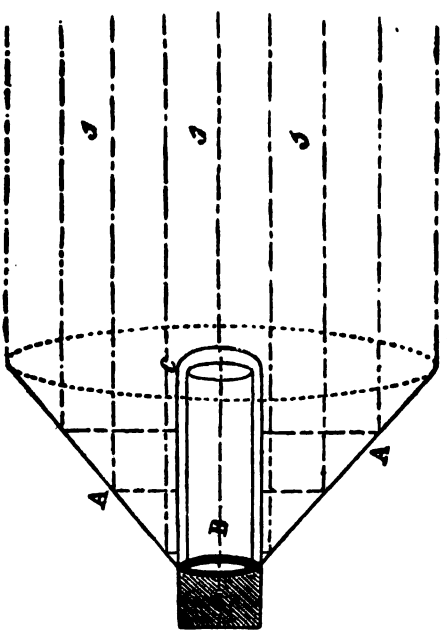
Поглощеніе и разсѣяніе въ атмосферѣ. Болометрическія наблюденія Langley'я дали возможность произвести весьма интересныя изслѣдованія надъ прозрачностью атмосферы для лучей различной длины волнъ. Изъ наблюденій обнаружилось, какъ мы уже видѣли (см. стр. 263), что въ атмосферѣ нашей, путемъ разсѣянія, ослабляются сильнѣе лучи большей преломляемости, а путемъ поглощенія—болѣе длинныя волны. Поглощающей средой являются водяные пары и углекислота. Что касается распредѣленія энергіи въ солнечномъ спектрѣ, то, по изысканіямъ Langley, максимумъ теплоты въ нормальномъ солнечномъ спектрѣ, при достиженіи лучей земной поверхности въ полдень, находится вблизи желтаго цвѣта, такъ что тепловой и свѣтовой максимумы почти совпадаютъ. Задержанная въ атмосферѣ солнечная энергія частью теряется въ междупланетное пространство, частью остается въ атмосферѣ и служитъ также источникомъ энергіи для земной поверхности (лучеиспусканіе атмосферы или освѣщеніе свода—свѣтовое и тепловое). Clausius, изслѣдуя этотъ вопросъ теоретически, нашелъ, что, если считать коэффиціентъ прозрачности равнымъ 0.75 и принять за единицу напряженіе свѣта на границѣ атмосферы, то количество радіаціи солнечной и разсѣянной выразится слѣдующими числами (на горизонтальную поверхность):

высота солнца надъ горизонтомъ. . .	10^0	20^0	30^0	40^0	50^0	60^0	70^0
количество солнечнаго свѣта (a) . .	0.03	0.15	0.28	0.41	0.52	0.62	0.69
количество разсѣяннаго свѣта (b) . .	0.07	0.11	0.14	0.16	0.17	0.18	0.18
$(a+b)$	0.10	0.26	0.42	0.57	0.69	0.80	0.87

Digitized by Google

Слѣдовательно, при высотѣ солнца въ 30°, 67% свѣта доставляется солнцемъ непосредственно и 33% разсѣяніемъ свѣта. Если же допустимъ, что коэффиціентъ прозрачности равенъ 0.6, то, при высотѣ солнца въ 30°, солнце доставляетъ 56%, разсѣянный свѣтъ — 44%. Того же порядка числа получены помощью фотометрическихъ изслѣдованій, произведенныхъ Langley на Аллеганахъ. Весьма вѣроятно, что и тепловое разсѣянное лучеиспусканіе также довольно значительно; слѣдовательно, разсѣянная энергія атмосферы должна играть значительную роль въ жизни нашей планеты.

Непосредственная утилизація солнечной энергіи. Были сдѣланы попытки непосредственно воспользоваться тепловой энергіей солнечныхъ лучей и, съ этой цѣлью, устроены инсоляторы. Приборы эти состоятъ изъ параболическаго зеркала *AA*, (фиг. 88), по оси котораго установленъ металлическій котелъ *B*, защищенный стеклянной оболочкой *C*. Зеркало оріентируютъ такъ, чтобы солнечные лучи *SSS* падали параллельно оси зеркала *SB*. Отраженные лучи падаютъ на стѣнки котла *B*, въ которомъ находится, напр, перегоняемая жидкость [1]).



Фиг. 88.

Геліографы. Естественнымъ дополненіемъ къ актинометрическимъ приборамъ являются *геліографы*. Приборы эти служатъ для записыванія числа часовъ солнечнаго сіянія, т. е. числа часовъ, въ теченіе которыхъ солнце дѣйствительно инсо-

[1]) Подробнѣе см. Лигинъ. Непосредственныя примѣненія солнечной энергіи. Одесса. 1883. Въ этой статьѣ указана и литература вопроса.

Digitized by Google

лировало (не было закрыто облаками). Геліографъ Маурера состоитъ изъ усѣченнаго цилиндра; онъ оріентируется такъ, чтобы ось его совпадала съ осью міра. На поверхности, обращенной къ солнцу, находится небольшое отверстіе; лучи солнца проникая черезъ это отверстіе, оставляютъ слѣдъ на свѣточувствительной полоскѣ бумаги, дѣленія которой обозначаютъ часы и минуты Послѣ проявленія полоски, мы получимъ непрерывный слѣдъ, если солнце все время было открыто, и прерывистый, если оно частью было закрыто тучами. Геліографъ *Величко* удобнѣе и доступнѣе. Заслуживаетъ вниманія геліографъ Кемпбелля: стеклянный шаръ, помѣщенный на вертикальной ножкѣ, собираетъ лучи солнца въ одной точкѣ и, такимъ образомъ, прожигаетъ бумажную ленту, вложенную въ особую металлическую подставку, представляющую собою геометрическое мѣсто различныхъ положеній фокуса лучей. Бумажная лента разграфлена поперечными линіями, означающими часы. Длина прожженной полосы прямо говоритъ о времени, когда солнце не было закрыто облаками [1]). Существуетъ еще двухнедѣльный геліографъ Величко, видоизмѣненный Шимановскимъ [2]).

Литературныя указанія.

1) * Панченко. Солнечное лучеиспусканіе. Ч. I—III. Одесса. 1895.

2) * Crova. Annales de Chimie et de Physique. 5-me Série, T. 11, 1877.

3) * Crova, ibid. 6-me Série, T. 14, 1888.

4) * Violle. Ibid. 5-me Série, T. 10, 1877.

5) * Langley. Ibid. 5-me Série, T. 24, 1881 и T. 29, 1883.

6) * Angström. Wiedemann's Annalen. Bd. 39, 1890, S. 294.

7) Chwolson. Actinometrische Untersuchungen. Repert. für Meteorologie. Bd. XVI, 1893.

---

[1]) Геліографы Величко и Кемпбеля подробно описаны въ «Инструкціи Главной Физической Обсерваторіи».

[2]) Метеорологическое Обозрѣніе. Труды метеорологической сѣти юго-запада Россіи. Десятилѣтіе. 1886—1895. Одесса. 1896, стр. 34.

Digitized by Google

8) Chwolson. Ueber gegenwärtigen Zustand der Actinometrie. Repertorium für Meteorologie. Bd. XV, 1892.

9) *Langley. Researches on solar heat. Chap. XI. The spectrobolometer.

10) *Violle. Rapport sur la radiation. Bericht des Internationalen Meteorologischen Komitet's Versammlung zu Paris, 1900 und zu Southport, 1903.

11) Westmann. Mesure de l'intensité de la radiation solaire faites à Upsala en 1901 Upsala. 1901.

12) *Crova. Etude de l'intensité calorifique de la radiation solaire au moyen de l'actinomètre enregistreur. Annales de Chimie et de Physique, VI, T. 14, Paris, 1888, p. 541.

13) *Schukewitsch. Actinometrische Beobachtungen zu Pawlowsk. Repertorium für Meteorologie. Bd. XVII, № 5, 1894, S. 30.

14) *Angström. Ueber die Bedeutung des Wasserdampfes und der Kohlensäure bei der Absorption der Erdatmosphäre. Annalen der Physik, IV, Bd. 3, 1900, S 728.

15) *Gorczyński. Sur les variations de l'intensité du rayonnement solaire avec la hauteur du soleil.

16) *Gorczyński. Sur les sommes de la chaleur solaire pour Varsovie, Treurenberg et Montpellier.

17) *Gorczyński. Quelques renseignements sur la depression du rayonnement solaire à Varsovie en 1903. Эти три статьи Горчинскаго напечатаны въ изданіяхъ (Bulletin) 1906 года Метеорологической Комиссіи Департамента Hèrault во Франціи.

18) Müller. Aktinometer-Beobachtungen im Observatorium zu Katharinenburg. Bulletin de l'Acad. de Sc. de St.-Petersb. 1899, Vol. XI.

19) *Отдѣльныя статьи въ журналахъ:

a) Comptes-Rendus de l'Academie des sciences. Paris.

b) Meteorologische Zeitschrift.

c) Annales de Chimie et de Physique.

d) Wiedemann's Annalen.

e) Annali di Ufficio Centrali di meteorologia e di geodinamica. Roma.

Digitized by Google

VI.

Расходъ тепла.

Потеря тепла путемъ лучеиспусканія. Качественныя опредѣленія Wells'a, Daniell'a, Boussingault и др. Утренники. Количественныя измѣренія интенсивности ночныхъ лучеиспусканій. Температура атмосферы. Температура мірового пространства. Литературныя указанія.

Потеря тепла путемъ лучеиспусканія. До сихъ поръ мы разсматривали *приходъ энергіи*. Но планета наша постоянно теряетъ также извѣстный запасъ тепла. *Расходъ* этотъ происходитъ различными путями: часть солнечныхъ лучей *отражается* отъ земной поверхности, другая—передается воздуху путемъ *теплопроводности*, третья, наконецъ, теряется путемъ *лучеиспусканія*. Мы не можемъ точно опредѣлить, какое количество солнечной энергіи передается атмосферѣ первыми двумя путями; можемъ только сказать, что отраженная радіація, въ свою очередь, частью вновь поглощается и разсѣивается атмосферой, частью теряется въ міровое пространство. Болѣе опредѣленныя данныя имѣются относительно потери тепла путемъ *лучеиспусканія*. Извѣстно, что всякое тѣло, находящееся въ средѣ, имѣющей болѣе низкую температуру, теряетъ тепло путемъ лучеиспусканія. Хотя у насъ нѣтъ точныхъ данныхъ о температурѣ междупланетнаго пространства, но она, во всякомъ случаѣ, должна быть очень низкая; слѣдовательно, земля наша должна постоянно лучеиспускать къ этой холодной средѣ. Въ дневные часы, расходъ этотъ покрывается съ избыткомъ лучеиспусканіемъ солнца, и, во всей своей силѣ, выступаетъ въ ночные часы, а потому, эту потерю тепла называютъ *ночнымъ лучеиспусканіемъ*. Особенно рѣзко выступаетъ ночное охлажденіе въ пустыняхъ стараго и новаго свѣта. Въ пустыняхъ Африки, ночью вода въ мѣхахъ можетъ замерзать, въ то время, какъ днемъ температура подымается до 40° въ тѣни. Въ Индіи, на поверхности воды, налитой въ глиняные сосуды, поставленные подъ открытымъ небомъ на соломѣ, можетъ образоваться слой льда до 3 сантиметровъ толщины въ то время, какъ термометръ на высотѣ 1.7 метра надъ почвой показываетъ 5°—8°. Мы, нерѣдко, можемъ наблюдать, что снѣгъ, находящійся въ тѣни, при ясной погодѣ не таетъ, въ то время,

Digitized by Google

какъ температура воздуха колеблется отъ 6° до 7°. Scoresby замѣтилъ, что въ полярныхъ странахъ, при покрытомъ небѣ, вода не замерзаетъ при температурѣ —1°.0; между тѣмъ, если погода ясная и тихая, то въ промежуткахъ между льдинами обильно образуется новый ледъ при 0°.

Качественныя опредѣленія Wells'a, Daniell'a, Boussingault и друг. Первоначальныя наблюденія надъ силою ночного лученспусканія имѣли болѣе *качественный* характеръ. Особенно обширныя изслѣдованія принадлежатъ Wells'y въ Англіи. Слѣдуя методу Wells'a, одинъ термометръ кладутъ на поверхности почвы, ничѣмъ незащищенный, а другой—на извѣстной высотѣ, или, еще лучше, въ термометрической будкѣ. Первый термометръ будетъ измѣрять температуру почвы, а другой—температуру воздуха. Показанія второго термометра t_1 вообще, выше отсчета перваго t_2, и разность $t_1 - t_2$ принимаютъ *мѣрою* ночного лученспусканія. Наблюденія показали, что эта разность измѣняется въ зависимости отъ различныхъ факторовъ. Разность эта, при одинаковыхъ прочихъ условіяхъ, тѣмъ больше, чѣмъ яснѣе и безоблачнѣе небо. Туманъ уменьшаетъ эту разность иногда даже до нуля. Если надъ термометромъ установить навѣсъ изъ сукна или войлока, то этотъ навѣсъ предохраняетъ защищенную часть почвы отъ охлажденія. Роль такого покрова играютъ облака, особенно низкія и плотныя. Высокія облака, вслѣдствіе своей низкой температуры, оказываютъ лишь слабое дѣйствіе. Ночное лученспусканіе уменьшается также съ увеличеніемъ количества паровъ въ атмосферѣ. Водяные пары, слѣдовательно, играютъ роль регулятора въ атмосферѣ: съ одной стороны, они, поглощая часть солнечной радіаціи (особенно темную тепловую), предохраняютъ поверхность земли отъ сильныхъ нагрѣваній; съ другой — ослабляютъ интенсивность ночныхъ охлажденій. Интенсивность ночныхъ охлажденій зависитъ, далѣе, отъ физическихъ свойствъ охлаждающихся тѣлъ и поглощательной способности ихъ поверхности Поверхности бѣлыя и блестящія охлаждаются слабѣе, чѣмъ черныя и шероховатыя. Поверхность металлическихъ массъ охлаждается меньше, чѣмъ поверхность непроводника. Трава обнаруживаетъ болѣе низкую температуру, чѣмъ почва, лишенная растительности. При наблюденіяхъ Wells'a, наиболѣе низкую температуру обнаружили: лебяжій пухъ, шелкъ, хлопчатая бумага, солома, обрѣзки бумаги и шерсть. Ночное

Digitized by Google

охлажденіе ограничивается только поверхностнымъ слоемъ и не проникаетъ глубже $^1/_2$—1 дюйма. Дальнѣйшія наблюденія принадлежатъ Daniell'ю въ окрестностяхъ Лондона. Daniell устанавливалъ на поверхности почвы минимумъ-термометры, шарики которыхъ были слегка покрыты черной шерстью. Оказалось, что, вблизи Лондона, температура этихъ термометровъ можетъ, во всѣ мѣсяцы года, за исключеніемъ іюля и августа, падать до нуля и ниже. Въ Одессѣ, по 10-лѣтнимъ наблюденіямъ обсерваторіи (1894—1903), возможны слѣдующія наибольшія паденія температуры воздуха и почвы:

	почва	возд.	разн.		почва	возд.	разн.
январь.	—23°.2	—23.5	+0.3	іюль. . .	5.9	10.0	—4.1
февраль	—20.2	—19.4	—0.8	августъ .	3.7	8.1	—4.4
мартъ .	—14.9	—14.6	—0.3	сентябрь.	— 5.9	0.4	—6.3
апрѣль.	— 7.4	— 2.8	—4.6	октябрь. .	— 8.0	— 3.8	—4.2
май. . .	— 2.0	0.4	—2.4	ноябрь . .	—17.8	—13.8	—4.0
іюнь . .	3.4	7.7	—4.3	декабрь. .	—24.0	—19.6	—4.4

Для тропическаго пояса имѣются наблюденія Sabine'а. На Ямайкѣ, на берегу моря, разность между температурой воздуха и поверхности почвы достигала 6°.4, а на высотѣ 4000 футовъ она восходила до 10°. Boussingault, въ горахъ Южной Америки, наблюдалъ разность показаній термометровъ до 6°.0. На Шпицбергенѣ, по наблюденіямъ Bessel'я, интенсивность ночного лучеиспусканія выразилась разностью термометровъ 3°—4°. Лучеиспускаетъ даже поверхность снѣга. Напримѣръ, въ одномъ изъ наблюденій Boussingault, было установлено три термометра: одинъ—подъ снѣгомъ такъ, что шарикъ его касался земли, другой—на поверхности снѣга, третій—на высотѣ 1.2 метра надъ землей. Показанія были слѣдующія въ 7 часовъ утра:

первый термометръ . .	—3°.5
второй » . .	—12.0
третій » . .	— 3.5

Еще болѣе сильныя охлажденія нашли Bravais и Martin на Монбланѣ, на высотѣ 3930 метровъ:

Digitized by Google

	воздухъ	поверхность почвы	разность
30 августа . . .	—5°.8	—20.1	14°.3
31 » . . .	—5.2	—20.3	15.1

Изъ всего сказаннаго видно, что ночное охлажденіе имѣетъ мѣсто во всѣхъ широтахъ, независимо отъ географическаго положенія мѣста. Оно достигаетъ наибольшей интенсивности при ясной, тихой, безоблачной погодѣ. Присутствіе паровъ и пыли уменьшаетъ теплопрозрачность атмосферы и уменьшаетъ лучеиспусканіе почвы. На высокихъ горахъ, гдѣ воздухъ прозрачнѣе, лучеиспусканіе сильнѣе. Вмѣстѣ съ тѣмъ, лучеиспусканіе должно быть значительно слабѣе въ морскихъ климатахъ и увеличиваться при переходѣ къ климатамъ континентальнымъ. Въ Европѣ, ночное охлажденіе увеличивается по мѣрѣ перемѣщенія отъ западныхъ береговъ къ востоку.

Утренники. Въ ясныя безоблачныя ночи, когда поверхность почвы сильно охлаждена, охлаждается также прилегающій слой воздуха. Пары, въ немъ находящіеся, также охлаждаются и, мало по малу, приближаются къ состоянію насыщенія; наконецъ, достигаютъ точки росы и осаждаются въ формѣ капель (роса), если температура сгущенія выше нуля, или въ твердой формѣ (иней), если температура насыщенія ниже нуля. Теорія росы и инея будетъ изложена ниже. Замѣтимъ только, что охлажденія, вызывающія сгущеніе паровъ при температурѣ ниже нуля, весьма вредны для растительности. Эти, такъ называемые, *утренники* наиболѣе возможны и наиболѣе опасны поздней весной и ранней осенью. Они наиболѣе возможны потому, что температура воздуха, въ эти мѣсяцы, нерѣдко падаетъ до 5°—6°; температура же почвы можетъ быть, въ нашихъ широтахъ, ниже температуры воздуха на 6°—7°. Они наиболѣе опасны весной потому, что молодая растительность нашихъ полей и садовъ еще не вполнѣ окрѣпла и крайне чувствительна къ рѣзкимъ колебаніямъ температуры. Такіе утренники составляютъ бичъ, особенно для хозяйствъ восточной Россіи. Изъ наблюденій видно, что въ Саратовской губ. послѣдній ночной морозъ на поверхности почвы можетъ быть 2 іюня, а первый осенній—въ началѣ августа. Въ Архангельской губ., эти заморозки возможны, въ отдѣльные годы, въ теченіе цѣлаго года, за исключеніемъ одного мѣсяца (отъ 2 іюня до 2 іюля). Въ Одессѣ, ранніе заморозки возможны

Digitized by Google

въ октябрѣ и даже въ сентябрѣ. Въ 1902 году, первый утренникъ наблюдали 21 сентября:

	Minimum			Влажн. отн.		Вѣтеръ	
	почв.	возд.	разн.	7 ч. у.	9 ч. в.	7 ч. у.	9 ч. в.
21 сентября	—2°.4	5.8	8.2°	77%	40%	N	ENE
22 »	—0.9	7.1	8.0	57	44	N	E
23 »	—5.9	2.1	8.0	63	38	NW	NNE

Другой подобный же случай отмѣченъ въ Одессѣ 26 сентября 1906 года.

	Minimum			Влажн. отн.		Вѣтеръ	
	почв.	возд.	разн.	7 ч. у.	9 ч. в.	7 ч. у.	9 ч. в.
26 сентября	—1°.7	2.3	—4.0	76%	70%	NNW	WNW
27 »	—1.1	—0.8	—0.3	82	58	W	WNW
28 »	1.7	3.1	—1.4	59	56	WNW	W.

Въ виду серьезнаго значенія утренниковъ для сельскаго хозяйства, дѣлаемы были попытки предсказанія ихъ и предохраненія растеній отъ вреднаго вліянія мороза. Предложено было нѣсколько способовъ предсказанія утренниковъ. Простѣйшій изъ нихъ заключается въ томъ, что, при посредствѣ одного изъ гигрометровъ, опредѣляютъ, съ вечера, точку росы содержащихся въ воздухѣ паровъ. Если, при вечернемъ наблюденіи, точка росы окажется *ниже нуля* и при этомъ небо ясное и безоблачное, то ночной морозъ вѣроятенъ, и слѣдуетъ принять предохранительныя мѣры, т. е. прибѣгнуть къ закрытіямъ или разведенію, съ подвѣтренной стороны, костровъ, дающихъ много дыма и т. п. Мы видѣли, что все то, что уменьшаетъ прозрачность атмосферы, понижаетъ ночное охлажденіе (облака, пыль, туманъ, дымъ, вообще всякій покровъ). Въ виду этого, раскладываютъ съ подвѣтренной стороны, около участка подлежащаго охраненію, костры изъ матеріала, дающаго обильный дымъ и, въ случаѣ вѣроятной опасности, зажигаютъ ихъ. Масса дыма образуетъ, своего рода, предохранительный покровъ.

Количественныя измѣренія интенсивности ночныхъ лучеиспусканій. До сихъ поръ мы говорили о результатахъ опредѣленій напряженія ночного лучеиспусканія исключительно качественнаго характера. Съ недавняго времени имѣются у насъ

Digitized by Google

и строго количественныя измѣренія. Такія опредѣленія принадлежатъ Maurer'у, Pernter'у, Trabert'у, Homén'у. При опредѣленіяхъ этихъ, примѣнены были методы, сходные съ методами актинометрическихъ измѣреній, а слѣдовательно, результаты давали намъ то число малыхъ калорій, которое теряетъ квадратный сантиметръ вычерненной поверхности въ одну минуту.

Первыя опредѣленія интенсивности ночного лучеиспусканія въ абсолютныхъ единицахъ были сдѣланы Maurer'омъ въ Цюрихѣ [1]) на высотѣ 440 метровъ. Для своихъ наблюденій, Maurer примѣнилъ приборъ, который былъ построенъ Christiansen'омъ для наблюденій лучеиспусканія. Калориметрическимъ тѣломъ, въ этомъ приборѣ, служила мѣдная, вычерненная, цилиндрическая пластинка, масса которой равна 364.72 грамма, толщина—0.67 сантиметра, радіусъ—4.50 сантиметра, теплоемкость—0.0949. При помощи подобнаго актинометра, найдена въ 1887 году, слѣдующая потеря тепла съ поверхности одного квадратнаго сантиметра въ минуту (въ малыхъ калоріяхъ):

дни	часы	температура воздуха	потеря тепла
13 іюня	9—11½ ч. р.	18°0	0.128
17 »	10—11½ » »	16°0	0.134
18 »	9—10 » »	15°5	0.122.

Среднее изъ всѣхъ произведенныхъ наблюденій равно 0.130 калоріи при средней температурѣ среды въ 15°.

Дальнѣйшія наблюденія принадлежатъ Pernter'у на Sonnblick'ѣ (3095 метровъ) и Trabert'у, у подножья Sonnblick'а, на Rauris (900 метровъ). При этихъ наблюденіяхъ примѣненъ былъ нѣсколько видоизмѣненный актинометръ Violle'я [2]). Лучеиспусканіе съ поверхности одного квадратнаго сантиметра въ минуту выразилось, въ малыхъ калоріяхъ, слѣдующими числами:

a) Sonnblick

18 февр.	1888	въ	10	ч.	45	м.	р. . .	0.216	при темп. воздуха	—	20°.0
»	»	»	11	»	30	»	р. . .	0.220	» »	»	— 20.5
29 »	»	»	6	»	0	»	а. . .	0.219	» »	»	— 13.0
»	»	»	8	»	0	»	р. . .	0.201	» »	»	— 15.0

[1]) Sitzungsberichte der Berliner Akademie der Wissenschaften. 1887, 2, S. 925—933.

[2]) Sitzungsberichte der Wiener Akad. der Wissenschaften. Math.-Naturw. Klasse, II Abtheilung. 1888, S. 1562—1586.

Digitized by Google

b) Rauris

28 февр. 1888 въ 9 ч. 40 м. р . . . 0.179 при темп. воздуха — 8°.0
29 » » » 6 » 50 » а . . . 0.164 » » » — 13.0
» » » » 8 » 0 » р . . . 0.151 » » » — 8.0.

Интересны числа, полученныя, при одновременномъ наблюденіи на обѣихъ станціяхъ, 29 февраля въ 8 ч. вечера:

на высотѣ	3095	метровъ . . .	0.201
» »	900	» . . .	0.151
разность	2195	» . . .	0.050

Въ тотъ же день, во время восхода солнца:

на высотѣ	3095	метровъ . . .	0.219
» »	900	» . . .	0.164
разность	2195	» . . .	0.055

Наибольшее лучеиспусканіе найдено:

на высотѣ	3095	метровъ	18	февр.	1888	г.	въ	10 ч.	45 м. р . .	0.221
» »	900	»	28	»	»	»	»	9 »	40 м. р . .	0.179
разность	2195	»								0.042

Knut Angström примѣнилъ принципъ своего электрическаго компенсаціоннаго пиргеліометра къ опредѣленію ночного лучеиспусканія [1]). Предварительныя наблюденія, произведенныя въ Upsal'ѣ и Holmenkollen, въ маѣ — ноябрѣ 1904 года, дали, при совершенно ясномъ небѣ, числа, заключенныя между 0.146 и 0.171 малыхъ калоріи. Максимальное число 0.171 получено въ Upsal'ѣ, 9 октября въ 5 ч. 25 м. пополудни.

Homén, въ Финляндіи, нашелъ 15 августа 1897 года, при температурѣ воздуха въ 6°.0, лучеиспусканіе равнымъ 0.22 калоріи.

Лучеиспусканіе къ различнымъ частямъ неба неодинаково. Если лучеиспусканіе къ зениту принять за единицу, то лучеиспусканіе къ точкѣ неба, лежащей отъ зенита на разстояніи

30°	56°	79°	
0.93	0.88	0.61	мал. кал.

[1]) Knut Angström. Ueber die Anwendung der elektrischen Kompensationsmethode zur Bestimmung der nächtlichen Ausstrahlung Upsala. 1905.

Digitized by Google

Температура атмосферы. Найдено, что каждый квадратный сантиметръ вычерненной мѣдной пластинки терялъ путемъ лучеиспусканія среднимъ числомъ:

въ Цюрихѣ . . .	0.13	кал. въ минуту
на Rauris	0.15	» » »
» Sonnblick'ѣ . .	0.20	» » »

Но, по опытамъ Stefan'a, подтвержденнымъ теоретически Boltzmann'омъ, лучеиспусканіе H пропорціонально 4-ой степени абсолютной температуры, т. е. $H=AT^4$, гдѣ $A=0.723\times10^{-10}$. При температурѣ равной 15°, каждый квадратный сантиметръ поверхности мѣдной пластинки долженъ терять въ минуту 0.497 калоріи. Но, при этой температурѣ (15°), какъ видно изъ наблюденій въ Цюрихѣ, потеря равнялась 0.13 калоріи. Слѣдовательно, разность 0.497—0.13=0.367 калоріи пополнялась тепломъ, приходившимъ изъ атмосферы. Это тепло приписываютъ *лучеиспусканію* атмосферы. Изъ этого видно, что атмосфера способна аккумулировать значительный запасъ тепла, который долженъ играть существенную роль въ жизни нашей планеты. Онъ равенъ 0.366 малыхъ калоріи въ минуту на каждый квадратный сантиметръ и составляетъ около $\frac{1}{10}$ части солнечной постоянной. По Trabert'y, граммъ воздуха, температура котораго равна 0°, лучеиспускаетъ къ поверхности, имѣющей —273°, около 9 малыхъ калорій въ часъ.

Болѣе 70 отдѣльныхъ точныхъ опредѣленій лучеиспусканія сдѣлано Exner'омъ на Sonnblick'ѣ въ іюнѣ и іюлѣ 1902 года[1]). Средніе результаты въ граммокалоріяхъ на квадратный сантиметръ въ минуту:

часы	9-10	10—11	11—12	12—1	1-2	2—3	среднее
темпер. воздуха=	0.2	—0.1	— 2.1	—2.1	—1.4	0.0	—1.1
лучеиспусканіе =	0.18	0.18	0.19	0.20	0.20	0.19	0.19

Примѣняя законъ Stefan'a, найдемъ, что лучеиспусканіе атмосферы равно 0.21 мал. калоріи, т. е. почти въ два раза больше, чѣмъ по наблюденіямъ Pernter'a.

---

[1]) Met. Zeitschr. 1903, S. 411—414.

Digitized by Google

Температура мірового пространства. Подъ температурой мірового пространства понимаютъ температуру, которую приметъ тѣло (лишенное атмосферы и находящееся въ томъ мѣстѣ, которое занимаетъ земля), подъ вліяніемъ лучеиспусканія звѣздъ, при отсутствіи солнца; или иначе: это есть температура идеально черной оболочки около нашей атмосферы, оболочки, которая произведетъ такое же дѣйствіе, какъ совокупность всѣхъ звѣздъ, при отсутствіи солнца. Опредѣленіе этой температуры представляетъ огромныя трудности. Вотъ нѣкоторые результаты:

Pouillet.	—142°
Fröhlich	—129
Pernter	—140.

Приведемъ лишь одно косвенное соображеніе. Мы указали выше, что ночное лучеиспусканіе имѣетъ мѣсто во всѣхъ широтахъ; слѣдовательно, температура мірового пространства должна быть ниже всѣхъ, самыхъ низкихъ, температуръ, наблюдающихся на земной поверхности. Наиболѣе низкая температура отмѣчена въ Верхоянскѣ (—70°); слѣдовательно,—70° можно разсматривать, какъ *высшій* предѣлъ для температуры мірового пространства. Но, по всей вѣроятности, эта температура гораздо ниже и, быть можетъ, близка даже къ абсолютному нулю.

Литературныя указанія. Немногочисленная литература по вопросу о ночныхъ лучеиспусканіяхъ разбросана въ журналахъ:

a) Zeitschrift für Meteorologie.

b) Meteorologische Zeitschrift.

Относительно предсказанія ночныхъ морозовъ см:

1) * Kammermann. Première étude sur le minimum de nuit.

2) * Wollny. Untersuchungen betreffend die Methoden der Vorausbestimmung der Nachtfröste. Agriculturphysik. XI, S. 150.

3) * Kersnowsky. Zur Frage über die Vorausbestimmung des Temperaturminimums. Repertorium für Meteorologie redig. von Wild, XI, № 6.

4) * Lang. Die Vorausbestimmung des Nachtfrostes.

5) * Korostelow. Sur la prévision des températures les plus basses, dans la nuit. Mém. de l'Acad. d. Sc. de St.-Petersb. Sér. VIII. Vol. VI.

Digitized by Google

6) * Коростелевъ. Къ вопросу о предсказаніи наименьшей температуры ночи. Ежемѣс. бюллетень Гл. Ф. Обс. 1898, № 4.

Полныя литературныя указанія можно найти въ журналѣ «Die Fortschritte der Physik», III Abtheilung. Kosmisch. Physik., а также у Günther'a «Handbuch der Geophysik». Bd. I, S. 292.

VII.

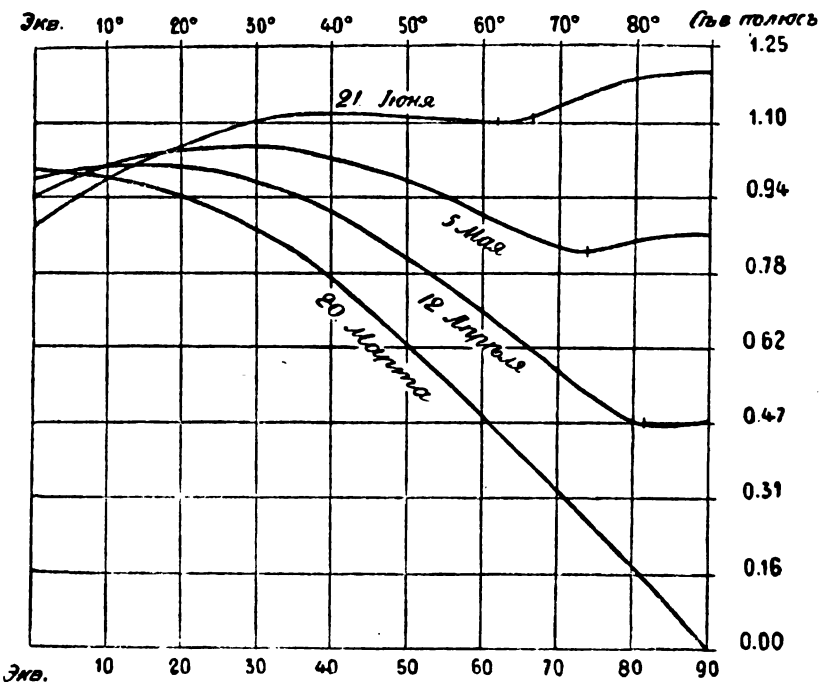
Тепловое состояніе земной коры въ самыхъ верхнихъ ея слояхъ.

Солнечный климатъ. Методы опредѣленія температуры почвы на поверхности и на различныхъ глубинахъ. Методъ Ламона. Методъ длинныхъ термометровъ. Термоэлектрическій способъ Періодическія измѣненія температуры почвы. Методъ среднихъ чиселъ. Суточныя колебанія температуры поверхностнаго слоя. Передача суточныхъ колебаній вглубь. Изслѣдованія Homén'a. Слой постоянной суточной температуры. Годовая періодичность. Температура почвы въ лѣсу и въ открытомъ полѣ. Вліяніе наружнаго покрова. Измѣненія температуры почвы по вертикальному направленію въ отдѣльные моменты года. Слой постоянной годовой температуры. Средняя годовая температура слоевъ, лежащихъ на различныхъ глубинахъ. Вѣчная мерзлота. Глубина промерзанія почвы. Изоплеты. Литературныя указанія.

Солнечный климатъ. Общій запасъ энергіи, получаемой отъ солнца, распредѣляется на земномъ шарѣ въ зависимости отъ многообразныхъ условій. Каждая единица земной поверхности получаетъ запасъ тепла, опредѣляемый ея географическими координатами, положеніемъ земли на своей орбитѣ, величиной солнечной радіаціи, а также поглощеніемъ лучей въ атмосферѣ. Дѣйствительное распредѣленіе солнечнаго тепла является, поэтому, сложной функціей многихъ перемѣнныхъ. Вопросъ нѣсколько упростится, если мы отвлечемся отъ физическихъ свойствъ атмосферы и разсмотримъ распредѣленіе тепла въ зависимости лишь отъ астрономическихъ и географическихъ факторовъ. Въ этомъ случаѣ, мы получимъ элементы, такъ назы-

Digitized by Google

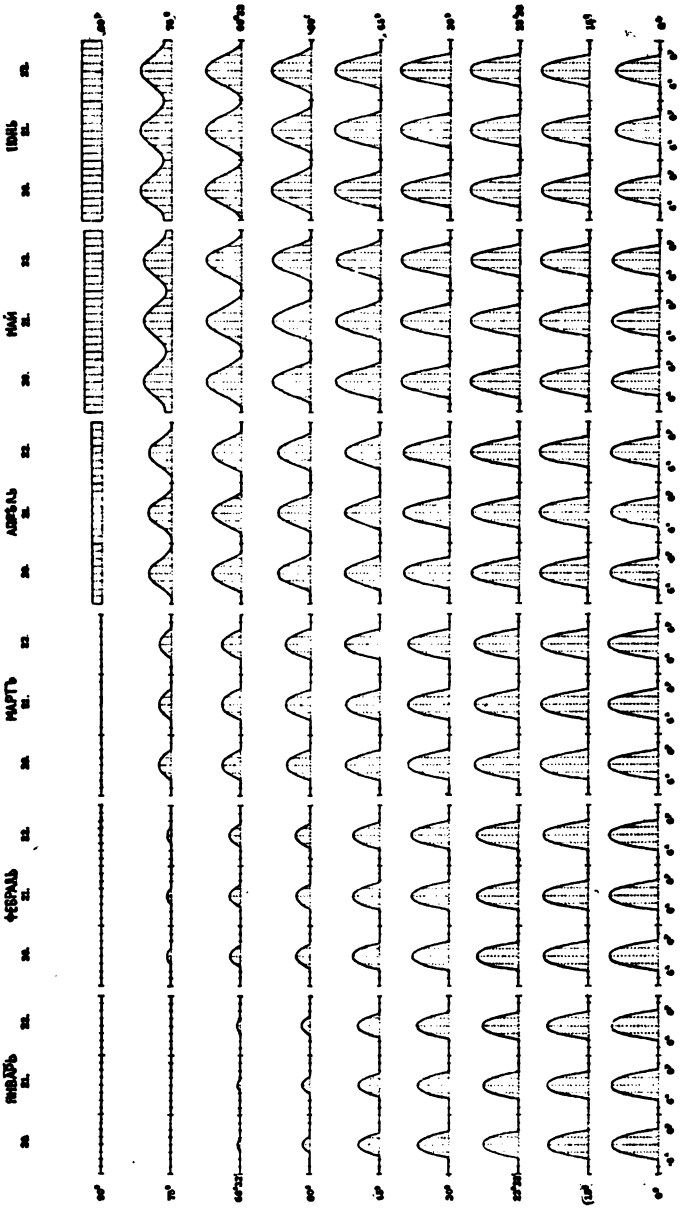
ваемаго, *солнечнаго климата*, т. е. распредѣленіе тепла, которое бы получала земная поверхность при отсутствіи атмосферы. Но, и въ этой упрощенной формѣ, теорія распредѣленія солнечнаго климата, тѣмъ не менѣе, представляетъ значительныя аналитическія трудности и имѣетъ, главнымъ образомъ, чисто теоретическій интересъ. Въ виду этого, въ настоящей главѣ, мы приведемъ только два чертежа, которые представляютъ графически простѣйшіе результаты, найденные Wiener'омъ и Zöllner'омъ. На фигурѣ 89 представлено количество тепла, получаемое въ



Фиг. 89.

различныхъ широтахъ 20 марта, 12 апрѣля, 5 мая и 21 іюня. При этомъ, количество тепла, получаемое въ день весенняго равноденствія на экваторѣ, принято за единицу. На фигурѣ 90 площади начерченныхъ фигуръ пропорціональны количеству тепла, полученнаго въ различныхъ широтахъ 20, 21 и 22-го

Digitized by Google



Фиг. 90.

Digitized by Google

каждаго изъ шести первыхъ мѣсяцевъ года [1]). Подробныя литературныя указанія по этому вопросу даны въ концѣ главы.

Методы опредѣленія температуры почвы на поверхности и на различныхъ глубинахъ. Тепловое состояніе какого нибудь элемента земной поверхности обусловливается взаимодѣйствіемъ между приходомъ и расходомъ тепла. Элементъ земной поверхности, съ одной стороны, получаетъ извѣстный запасъ тепла отъ солнца и атмосферы и, въ весьма слабой степени, отъ луны, планетъ и звѣздъ. Съ другой стороны, элементъ этотъ постоянно теряетъ тепло путемъ теплопроводности и лучеиспусканія; наконецъ, опредѣленное тепловое взаимодѣйствіе существуетъ между поверхностными и болѣе глубокими слоями земли. Если бы намъ были извѣстны точно законы прихода и расхода тепла, то, тѣмъ самымъ, мы могли бы составить формулу, выражающую тепловой балансъ для любого элемента земной поверхности. Съ другой стороны, въ атмосферѣ постоянно происходятъ процессы, въ одномъ случаѣ повышающіе, въ другомъ—понижающіе приходо-расходъ (воздушныя теченія, образованіе облаковъ, выпаденіе осадковъ и т. п.), вліяніе которыхъ не всегда можно выразить аналитически и ввести въ формулу. Въ виду этого, аналитическое рѣшеніе вопроса о тепловомъ режимѣ земной поверхности и его измѣненіяхъ представляетъ непреодолимыя трудности. Остается, слѣдовательно, путь эмпирическій—путь наблюденій.

Для опредѣленія температуры на поверхности почвы служитъ обыкновенный, прямой или изогнутый, термометръ. Термометръ долженъ быть установленъ на поверхности почвы такъ, чтобы нижняя половина его шарика находилась въ почвѣ. На нѣкоторыхъ станціяхъ опредѣляютъ еще температуру на глубинѣ 0.0; для этого, покрываютъ шарикъ термометра тонкой пленкой почвы, а зимою тонкой же пленкой снѣга. Но необходимо замѣтить, что подобныя опредѣленія на глубинѣ 0.0 не могутъ имѣть ни теоретическаго, ни практическаго интереса; на практикѣ невозможно достигнуть того, чтобы пленка земли, по-

[1]) Zöllner. Graphische Darstellung der täglichen Bestrahlung durch die Sonne in verschiedenen Monaten und Breiten. Meteorologische Zeitschrift. 1906, № 2.

Digitized by Google

крывающая шарикъ, сохраняла неизмѣнно свои физическія свойства. Рядомъ съ обыкновеннымъ термометромъ на поверхности почвы устанавливаютъ также максимумъ и минимумъ-термометры.

Методъ Лямона. Для опредѣленія температуры на различныхъ глубинахъ существуетъ нѣсколько методовъ. На всѣхъ русскихъ станціяхъ примѣняется методъ Лямона [1]). Въ почвѣ дѣлаютъ буровую скважину, въ которую вставляется деревянная или каучуковая трубка, сверху открытая, а снизу закрытая мѣднымъ кружкомъ около одного дециметра въ діаметрѣ. Если желаютъ опредѣлить температуру на глубинѣ 1 метра, то разстояніе отъ поверхности земли до мѣднаго дна трубки должно равняться одному метру. Въ трубку эту плотно вдвигается деревянный стержень, къ нижнему концу котораго прикрѣпленъ термометръ, заключенный въ особую гильзу. Основаніе этой гильзы плотно прилегаетъ къ мѣдному дну, а потому шарикъ термометра принимаетъ температуру слоя, лежащаго на глубинѣ 1 метра. Въ моментъ наблюденія, наблюдатель вытаскиваетъ стержень съ термометромъ, быстро дѣлаетъ отсчетъ и опять вдвигаетъ въ трубку. На станціяхъ обыкновенно установлена цѣлая серія такихъ термометровъ. Въ обсерваторіи Новороссійскаго университета на Маломъ Фонтанѣ, почвенные термометры находятся на слѣдующихъ глубинахъ: на поверхности, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6, 2.0, 2.5, 3.2 метра. Наблюденія производятся въ двухъ серіяхъ: при естественной поверхности почвы (лѣтомъ — трава, зимою — снѣгъ) и при оголенной поверхности.

Методъ длинныхъ термометровъ. Существуетъ и другой пріемъ для измѣренія температуры почвы, — это способъ длинныхъ термометрическихъ трубокъ. Шарикъ термометра зарытъ на глубинѣ изслѣдуемаго слоя, а шкала находится надъ поверхностію земли, а слѣдовательно, доступна отсчету. Но показаніе термометра съ длинной трубкой не будетъ вполнѣ выражать температуру шарика, такъ какъ различныя части длиннаго столба ртути будутъ находиться при различныхъ температу-

[1]) См. «Инструкція, данная Императорской Академіей Наукъ въ руководство метеорологическимъ станціямъ II разряда 1 класса».

Digitized by Google

рахъ. Необходимо ввести поправку, данную формулой Quetellet [1]). Впрочемъ, термометры съ длинными трубками мало употребляются вслѣдствіе ихъ хрупкости.

Термоэлектрическій способъ. Весьма удобенъ электрическій методъ Becquerel'я. Составляется термоэлектрическая цѣпь изъ двухъ разнородныхъ металлическихъ проволокъ, хорошо изолированныхъ. Выбираютъ металлы, дающіе значительную термоэлектрическую разность (сталь и нейзильберъ). Одинъ спай помѣщается на извѣстной глубинѣ въ почвѣ; другой—находится въ комнатѣ наблюдателя и погруженъ въ сосудъ съ водою или масломъ, куда опущенъ чувствительный термометръ. Въ цѣпь введенъ гальванометръ. Очевидно, что если температура t_1 спая, зарытаго въ почвѣ, будетъ выше или ниже температуры t_2 спая, находящагося въ комнатѣ, то въ цѣпи явится токъ, сила котораго, по закону Ома

$$i=\frac{E}{R}.$$

Но электровозбудительная сила термоэлектрическаго тока, по изслѣдованіямъ Авенаріуса,

$$E=(t_1-t_2)[A+B(t_1+t_2)],$$

гдѣ t_1 и t_2—температуры спаевъ,

» A и B—постоянные коэффиціенты, зависящіе отъ природы металловъ.

Если сопротивленіе цѣпи извѣстно, то, опредѣляя силу тока и температуру t_2, можно всякій разъ вычислить t_1, т. е. температуру того слоя почвы, въ которомъ находится спай. Но на практикѣ поступаютъ гораздо проще. Станемъ повышать или понижать температуру жидкости, въ которую погруженъ спай, находящійся въ комнатѣ, до тѣхъ поръ, пока не исчезнетъ токъ и стрѣлка мультипликатора не приметъ положенія равновѣсія; очевидно, что, въ этомъ случаѣ, оба спая находятся при одинаковой температурѣ. Остается только измѣрить температуру жидкости въ стаканѣ, гдѣ находится спай; эта температура и бу-

[1]) Schmid. Lehrbuch der Meteorologie. Leipzig. 1860, стр. 163.

Digitized by Google

детъ равна температурѣ нижняго спая. Такимъ образомъ можно измѣрить температуру на различныхъ глубинахъ, не выходя изъ комнаты.

Періодическія измѣненія температуры почвы. Нагрѣваніе и охлажденіе элемента земной поверхности обусловливается, какъ мы видѣли, взаимодѣйствіемъ прихода и расхода тепла. Но величина прихода и расхода постоянно мѣняется, вслѣдствіе чего должны также существовать соотвѣтственныя измѣненія и въ температурахъ почвы. Доминирующую роль въ приходѣ играетъ солнечная инсоляція, а въ расходѣ — ночное лучеиспусканіе, т. е. факторы, связанные съ суточнымъ и годовымъ движеніемъ земли; очевидно, слѣдовательно, что въ тепловомъ состояніи почвы должна существовать также періодичность двоякаго рода: *суточная*, связанная съ часами дня, и *годовая*—съ положеніемъ солнца относительно экватора. Для обнаруженія этой періодичности въ тепловомъ состояніи почвы нужны особые пріемы группировки и вычисленія наблюденій. Нагрѣваніе почвы, при одномъ и томъ же приходѣ и расходѣ тепла, зависитъ отъ физическихъ свойствъ почвы: ея состава, плотности, строенія, поглощательной способности, теплопроводности и теплоемкости. Внѣшніе факторы (дождь, снѣгъ, вѣтеръ, бо́льшая или меньшая сухость внѣшняго воздуха, растительный покровъ и т. п.) еще болѣе осложняютъ задачу объ обмѣнѣ и оборотѣ тепла въ почвѣ и воздухѣ. Тѣмъ не менѣе, вопросъ этотъ, въ послѣднее время, не только поставленъ на очередь, но и значительно подвинутъ работами Homén'a [1]) въ Финляндіи. Конечно, эти работы Homén'a, вслѣдствіе только что указанныхъ условій, не могутъ имѣть общаго характера, но онѣ опредѣленно и ясно указали тотъ путь, по которому должны итти дальнѣйшія изслѣдованія въ изученіи тепловой экономіи земного шара. Нѣкоторые результаты этихъ работъ Homén'a прекрасно изложены Воейковымъ въ его курсѣ «Метеорологія» часть I, а также въ «Метеорологическомъ Вѣстникѣ».

Homén изучалъ тепловой приходо-расходъ въ нѣкоторые дни августа—октября 1896 года. Результаты, выраженные въ килограммо-калоріяхъ, помѣщены въ слѣдующей таблицѣ:

---

[1]) Homén. Der tägliche Wärmeumsatz im Boden und die Wärmestrahlung zwischen Himmel und Erde. Leipzig. 1897.

Digitized by Google

				приходъ	расходъ	остатокъ
14	августа	5 ч. 50 м. а	—6 ч. 20 м. р	504.2	132.8	371.4
14—15	»	6 » 20 » р	—6 » 20 » а	14.6	130.0	—115.4
15	»	6 » 20 » а	—6 » 20 » р	447.8	121.5	326.3
1— 2	сентября	5 » 20 » р	—5 » 50 » а	5.5	55.7	— 50.2
2	»	5 » 50 » а	—5 » 40 » р	423.4	116.4	307.0
2—3	»	5 » 40 » р	—6 » 10 » а	7.5	71.2	— 63.7
3	»	6 » 10 » а	—5 » 30 » р	387.2	103.5	283.7
1	октября	7 » 25 » а	—4 » 10 » р	196.5	51.2	145.3
1—2	»	4 » 10 » р	—7 » 40 » а	4.7	95.3	— 90.6
2	»	7 » 40 » а	—4 » 10 » р	182.6	45.9	136.7

Такимъ образомъ, за одинъ и тотъ же, приблизительно, промежутокъ времени, тепловой балансъ выразился слѣдующими числами:

	приходъ	расходъ	остатокъ
14—15 августа	966.6	384.3	582.3
2— 3 сентября	818.1	291.1	527.0
1— 2 октября	383.8	192.4	191.4.

Подобныя-же числа далъ Schubert для Eberswalde (42 метра высоты) и Melkerei (Эльзасъ, 909 м. высоты). Онъ нашелъ, что мѣсячное количество тепла, получаемаго (+) или отдаваемаго (—) квадратнымъ сантиметромъ поверхности, выражается слѣдующими числами (въ калоріяхъ):

Ebersvalde.

	янв.	фев.	март.	апр.	май	іюнь	іюль	авг.	сент.	окт.	нояб.	дек.
поле	—300	—166	— 9	353	498	469	345	147	—133	—386	—425	—393
лѣсъ	—232	—140	—41	169	294	356	277	165	— 16	—232	—298	—302

Melkerei.

поле	—144	—108	0	148	292	232	184	84	— 76	—208	—216	—188
лѣсъ	—112	— 72	—4	104	172	164	148	76	— 28	—148	—160	—140

Изъ этой таблицы видно, что лѣсной покровъ имѣетъ умѣряющее вліяніе на тепловой обмѣнъ земной поверхности.

Digitized by Google

Но возвратимся къ опредѣленію суточной періодичности въ ходѣ температуры поверхностнаго слоя почвы. Возьмемъ наблюденія, произведенныя въ Тифлисѣ 21 мая 1884 года:

часы пополуночи:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1884 г.	12°.7	11.9	11.1	10.7	10.4	12.5	21.4	28.2	32.5	36.2	39.5	40.0
1885 »	19.0	17.2	15.4	14.3	13.5	15.5	19.7	32.9	37.6	40.6	45.0	47.4
1886 »	14.7	14.9	13.8	14.0	13.1	14.3	22.1	24.7	32.9	37.3	37.9	27.4

часы пополудни:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1884 »	42.6	42.0	39.0	36.2	33.2	28.0	23.5	20.8	18.5	16.7	15.7	14.3
1885 »	47.8	48.4	45.8	40.0	37.7	32.2	27.0	23.2	21.3	20.7	19.6	19.1
1886 »	24.9	22.5	27.0	25.9	23.5	20.7	17.9	15.9	15.0	14.0	13.4	12.7

Числа эти обнаруживаютъ совершенно правильный ходъ. Наиболѣе низкая температура отмѣчена въ 5 час. утра (минимумъ); затѣмъ, температура подымается до 1 часа дня (максимумъ), послѣ чего опять падаетъ. Сопоставивъ этотъ рядъ съ другими рядами наблюденій, произведенныхъ въ 1885 и 1886 годахъ (см. ту же таблицу), можно видѣть, что, въ одинъ и тотъ же день, но въ разные годы, тепловыя состоянія неодинаковы. Очевидно, что въ эти дни, несмотря на одинаковое положеніе солнца, существовали различныя условія, которыя и внесли извѣстныя модификаціи въ ходъ явленія. Какимъ образомъ освободить наши наблюденія отъ этихъ постороннихъ вліяній и получить то тепловое состояніе, которое обусловлено исключительно инсоляціей и лучеиспусканіемъ?

Методъ среднихъ чиселъ. Въ наблюдательныхъ наукахъ намъ приходится постоянно *измѣрять* различныя величины. При этомъ возможны два рода ошибокъ—постоянныя и случайныя. Постоянныя ошибки зависятъ отъ несовершенства измѣрительныхъ приборовъ и ихъ установки. Эти ошибки мы, по большей части, можемъ опредѣлить путемъ предварительныхъ изысканій. Но существуетъ и другой рядъ погрѣшностей; эти погрѣшности зависятъ отъ случайныхъ причинъ: степени освѣ-

Digitized by Google

щенія, состоянія погоды, настроенія наблюдателя, остроты его зрѣнія и слуха. При достаточной опытности наблюдателя, ошибки этой категоріи, вообще говоря, невелики; онѣ могутъ быть положительныя или отрицательныя; чѣмъ больше мы сдѣлаемъ отдѣльныхъ наблюденій, тѣмъ вѣроятнѣе, что алгебраическая сумма ошибокъ будетъ ближе къ нулю. Положимъ, что мы измѣряемъ извѣстный факторъ, напримѣръ, вѣсъ тѣла, и пусть истинная величина вѣса его равна p; положимъ далѣе, что мы повторили взвѣшиваніе n разъ, причемъ послѣдовательно сдѣланы весьма малыя ошибки α_1, α_2, α_3,... Тогда вѣсъ тѣла, опредѣляемый при каждомъ взвѣшиваніи, будетъ:

при первомъ взвѣшиваніи. . . . $p+\alpha_1$,
» второмъ » . . . $p+\alpha_2$,
. . . . . .
» n-омъ » . . . $p+\alpha_n$.

Сложимъ результаты всѣхъ наблюденій:

$$p+\alpha_1+p+\alpha_2+\ldots+p+\alpha_n=np+\alpha_1+\alpha_2+\alpha_3\ldots+\alpha_n.$$

Найдемъ среднее ариѳметическое этой суммы и обозначимъ его буквою P.

$$P=p+\frac{\alpha_1+\alpha_2\ldots+\alpha_n}{n}$$

или $$p=P-\frac{\alpha_1+\alpha_2+\alpha_3+\ldots+\alpha_n}{n}.$$

Изъ послѣдней формулы видно, что *истинный* вѣсъ тѣла отличается отъ средняго ариѳметическаго на дробь

$$\frac{\alpha_1+\alpha_2+\ldots+\alpha_n}{n}.$$

Но, очевидно, что съ увеличеніемъ числа взвѣшиваній, эта дробь будетъ быстро приближаться къ нулю; слѣдовательно, при n достаточно большомъ,

$$p=P,$$

Digitized by Google

т. е. истинный вѣсъ тѣла равенъ средней ариѳметической всѣхъ отдѣльныхъ взвѣшиваній. Этотъ элементарный методъ, называемый методомъ среднихъ чиселъ, даетъ возможность исключить вліяніе случайныхъ погрѣшностей наблюденій. Какъ же примѣнить этотъ методъ къ данному случаю, т. е. къ опредѣленію теплового состоянія почвы въ зависимости только отъ главныхъ источниковъ теплового приходо-расхода (инсоляціи и лучеиспусканія)? Очевидно, что вліяніе всѣхъ побочныхъ факторовъ, вносящихъ пертурбаціи, можно уподобить случайнымъ погрѣшностямъ наблюденій и исключить ихъ дѣйствіе методомъ среднихъ чиселъ. Такъ, напримѣръ, если мы желаемъ опредѣлить часовой ходъ температуры почвы для 1 іюля, то должны въ этотъ именно день года наблюдать ежечасно, въ теченіе ряда лѣтъ, а затѣмъ найти среднія для каждаго часа отдѣльно. Точно также можно вычислить суточный ходъ для 2-го, 3-го іюля и т. д. Соединеніе наблюденій, произведенныхъ въ разныя времена года, для полученія суточнаго хода слѣдуетъ считать неправильнымъ; вѣдь мы желаемъ найти тепловое состояніе почвы въ зависимости отъ измѣненія главнаго фактора; между тѣмъ, соединяя въ одно цѣлое наблюденія, произведенныя, напримѣръ, въ январѣ и въ іюлѣ, мы соединяемъ совершенно несоизмѣримыя величины (часы инсоляціи въ іюлѣ съ часами, въ которые происходитъ лишь одна потеря—въ январѣ). Въ крайности можно допустить нахожденіе общаго средняго суточнаго хода изъ наблюденій не болѣе 10 дней сряду (напримѣръ съ 1 по 10-е), относя результаты наблюденій къ срединѣ этого періода, т. е. къ 5-му числу. Въ первые 5 дней высота солнца въ извѣстный часъ будетъ нѣсколько выше, а въ послѣдніе пять—настолько же ниже или обратно. Въ крайнемъ случаѣ можно допустить группировку по мѣсяцамъ.

Суточныя колебанія поверхностнаго слоя. Обратимся теперь къ обозрѣнію результатовъ подобныхъ наблюденій. Для этого, воспользуемся прекрасными почвенными наблюденіями въ Тифлисѣ и перевычислимъ ихъ за 7-милѣтній періодъ (1884—1890). Въ слѣдующихъ таблицахъ напечатаны среднія часовыя значенія температуры поверхности почвы за январь и іюль. Рядомъ съ этими числами приведены также часовыя температуры воздуха за тотъ же періодъ времени.

Digitized by Google

Іюль.

ПОПОЛУНОЧИ.

ЧАСЫ.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Температура на поверхности почвы.	20°.73	20.20	19.61	19.06	18.80	20.09	25.46	30.55	35.68	40.76	44.78	47.04
Температура воздуха.	20.40	19.61	19.17	18.73	18.43	19.30	20.74	22.26	23.82	25.27	26.41	27.31
Разность	+0.33	+0.59	+0.44	+0.33	+0.37	+0.79	+4.72	+8.29	+11.86	+15.49	+18.37	+19.73

ПОПОЛУДНИ.

ЧАСЫ.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Температура на поверхности почвы.	48.14	47.31	45.76	42.53	38.19	32.76	28.51	25.73	24.24	23.12	22.21	21.44
Температура воздуха.	28.09	28.50	28.86	28.81	28.35	27.48	25.87	24.17	23.04	22.15	21.34	20.68
Разность	+20.05	+18.81	+16.90	+13.72	+9.84	+5.28	+2.64	+1.56	+1.20	+0.97	+0.87	+0.76

Digitized by Google

Январь.

ПОПОЛУНОЧИ.

ЧАСЫ.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Температура на поверхности почвы.	—2.60	—2.73	—2.87	—2.99	—3.12	—3.24	—3.36	—2.97	—0.52	2.12	4.64	6.33
Температура воздуха.	—2.29	—2.51	—2.63	—2.77	—2.89	—2.99	—3.01	—2.83	—1.82	—0.71	0.36	1.19
Разность	—0.31	—0.22	—0.24	—0.22	—0.23	—0.25	—0.35	—0.14	+1.30	+2.83	+4.28	+5.14

ПОПОЛУДНИ.

ЧАСЫ.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Температура на поверхности почвы.	7.20	6.74	5.19	2.36	0.18	—0.64	—1.14	—1.53	—1.83	—2 10	—2.31	—2.54
Температура воздуха.	1.87	2.19	2.23	1.71	0.64	—0.16	—0.67	—1.12	—1.43	—1.75	—1.95	—2.20
Разность	+5.33	+4.55	+2.96	+0.65	—0.46	—0.48	—0.47	—0.41	—0.40	—0.35	—0.36	—0.34

Digitized by Google

Изъ чиселъ этихъ можно видѣть, что температура поверхностнаго слоя совершаетъ въ теченіе сутокъ періодическое колебаніе съ *однимъ* максимумомъ и *однимъ* минимумомъ. Минимумъ имѣетъ мѣсто около времени восхода солнца, т. е. въ январѣ въ 7 часовъ утра (—3°.36), а въ іюлѣ—въ 5 часовъ утра (18°.80). Максимумъ въ поверхностномъ слоѣ наступаетъ въ 1 часъ дня. Разность между максимумомъ и минимумомъ называется *амплитудой* суточныхъ колебаній. Амплитуда въ январѣ равна 10°.56, а въ іюлѣ—29°.34. Такой-же общій характеръ имѣютъ суточныя колебанія и въ другихъ пунктахъ земного шара. Амплитуды суточныхъ колебаній достигаютъ наибольшей величины въ континентальныхъ климатахъ и значительно меньше въ морскихъ. Въ Токіо, напримѣръ, суточный ходъ въ августѣ (1891—1900 годы) выразился слѣдующимъ образомъ:

	почва	воздухъ	разность
полночь	25°.5	24°.0	1°.5
2	25.0	23.6	1.4
4	24.6	23.2	1.4
5	24.4	23.0	1.4
6	24.7	23.4	1.3
8	27.9	25.7	2.2
10	32.3	27.9	4.4
полдень	35.3	29.0	6.3
2	35.6	29.4	6.2
4	33.0	28.7	4.3
6	29.2	26.7	2.5
8	27.1	25.3	1.8
10	26.2	24.6	1.6 [1])
амплитуда	11.2	6.4	4.8

Максимумъ на поверхности почвы наступаетъ въ 1 ч. дня (35°.8), а въ воздухѣ—въ 2 ч. дня (29°.4); разность равна 6°.4. Интересно еще сравнить суточный ходъ температуры воздуха

[1]) Meteorolog. Zeitschrift, Heft 9, 1906.

Digitized by Google

и поверхностнаго слоя почвы. Для этой цѣли воспользуемся опять 7-лѣтними наблюденіями въ Тифлисѣ (стр. 317). Изъ наблюденій этихъ видно, что, въ январѣ, температура почвы въ *ночные* часы (5 ч. р—8 ч. а) *ниже*, а въ *дневные* (9 ч. а—4 ч. р) *выше* температуры воздуха. Въ іюлѣ, напротивъ того, поверхность почвы, во всѣ часы сутокъ, теплѣе воздуха. Въ 1 часъ дня эта разность достигаетъ, въ среднемъ, 20°.05.

Абсолютная величина нагрѣваній и охлажденій зависитъ, конечно, отъ физическихъ свойствъ почвы; въ Одессѣ, напримѣръ, въ лѣтніе дни, въ обсерваторіи, температура почвы можетъ подниматься:

при естественномъ покровѣ до 73°.7,
» оголенной поверхности » 61 .5.

Замѣчательно, что при естественномъ покровѣ, въ тихіе и спокойные дни, температура почвы на поверхности бываетъ выше, чѣмъ на оголенной поверхности; это явленіе можно объяснить тѣмъ, что трава, покрывающая почву въ Одессѣ, высыхаетъ, нагрѣвается сама и способствуетъ застаиванію воздуха и накопленію тепла. Въ зимніе мѣсяцы возможны слѣдующія охлажденія въ Одессѣ:

при естественномъ покровѣ до —23°.2,
» оголенной поверхности » —23 .2.

Слѣдовательно, температура поверхностнаго слоя колеблется

при естественномъ покровѣ въ предѣлахъ . . . 96°.9
» оголенной поверхности » . . . 84.7.

Въ Тифлисѣ максимумъ на поверхности достигаетъ 65°.5 (въ іюлѣ), а минимумъ можетъ падать до —14°.4, т. е. термометръ на поверхности почвы колеблется въ предѣлахъ 79°.9.

Передача суточныхъ колебаній вглубь. Измѣненія теплового состоянія поверхностнаго слоя почвы передаются отъ слоя къ слою вглубь. Теорія, построенная, впрочемъ, на нѣкоторыхъ простѣйшихъ допущеніяхъ, приходитъ къ слѣдующимъ выводамъ общаго характера: 1) если поверхностный слой испытываетъ періодическія колебанія, то колебанія того же періода

Digitized by Google

передаются вглубь, а слѣдовательно, на различныхъ глубинахъ, въ колебаніяхъ температуры должны существовать суточные періоды; 2) амплитуды колебаній съ глубиною уменьшаются; 3) моменты наступленія максимума и минимума постепенно запаздываютъ. Эти выводы теоріи вполнѣ совпадаютъ съ дѣйствительными наблюденіями. Такъ, въ Тифлисѣ суточный ходъ на различныхъ глубинахъ выражается слѣдующимъ образомъ:

A) іюль

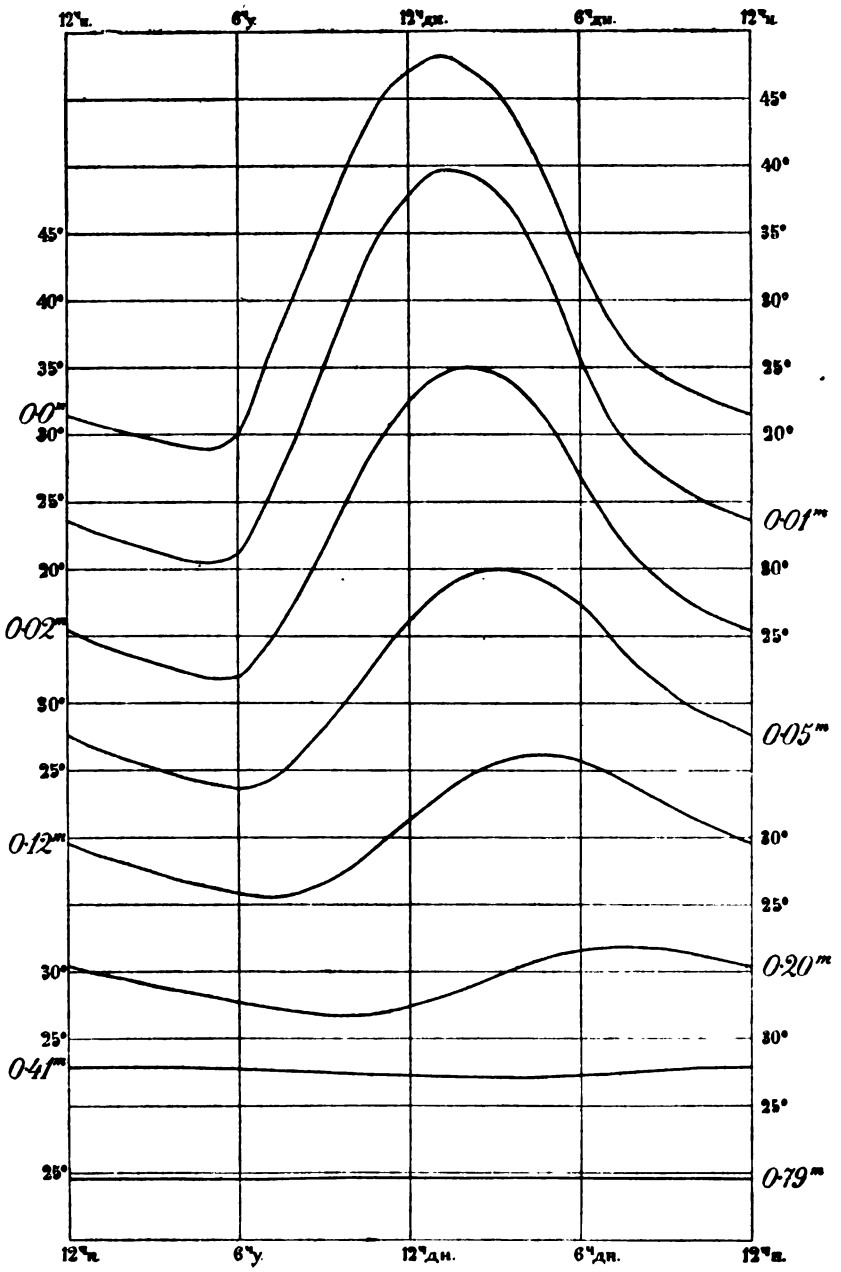
глубина	maximum	minimum	амплитуда
0.01 метра	49°.56 (1 ч. р)	20°.45 (5 ч. а)	29°.11
0.02 »	45.01 (2 ч. р)	21.89 (5 ч. а)	23.12
0.05 »	39.96 (3 ч. р)	23.62 (6 ч. а)	16.34
0.12 »	36.14 (5 ч. р)	25.53 (7 ч. а)	10.61
0.20 »	31.84 (6—7 ч. р)	26.73 (10 ч. а)	5.11
0.41 »	27.91 (1—4 ч. а)	27.14 (4 ч. р)	0.77
0.79 »	24.71 (7—10 ч. р)	24.62 (1—4 ч. а)	0.09
запозданіе отъ поверхности до глубины 0.79 . . .	30 часовъ	20 часовъ	

B) январь

глубина	maximum	minimum	амплитуда
0.01 метра	5°.73 (2 ч. р)	—2°.73 (7 ч. а)	8°.46
0.02 »	4.35 (2 ч. р)	—2.19 (7 ч. а)	6.54
0.05 »	2.29 (3 ч. р)	—1.36 (8 ч. а)	3.65
0.12 »	1.44 (4 ч. р)	—0.38 (9 ч. а)	1.82
0.20 »	1.59 (7—8 ч. р)	0.96 (12 ч. а)	0.63
0.41 »	2.64 (1—4 ч. а)	2.55 (7 ч. р)	0.09
0.79 »	5.68 (4 ч. а)	5.62 (10 ч. р)	0.06

Суточный ходъ іюльской температуры на различныхъ глубинахъ въ Тифлисѣ представленъ на фиг. 91.

Digitized by Google



Фиг. 91.

Digitized by Google

Такіе же результаты получены въ другихъ пунктахъ; напримѣръ, въ Якутскѣ (42° с. ш.), въ средней Азіи:

глубина въ м.	пов. почвы	0.05	0.10	0.20	0.40
средняя температура. . .	15°.8	13.4	13.8	13.9	14.3
maximum . .	32.3	19.2	17.8	15.6	14.7
minimum . .	5.2	8.5	9.8	12.2	14.1
амплитуда . .	27.1	10.7	8.0	3.4	0.6

Въ Брюсселѣ, амплитуды суточныхъ колебаній выражаются слѣдующими числами:

на глубинѣ	0.2	метра	4°.0
»	»	0.4	»	0.8
»	»	0.6	»	0.17
»	»	0.8	»	0.04
»	»	1.0	»	0.007

Значительный интересъ представляетъ фиг. 92, изображающая точную копію записей самопишущихъ термографовъ въ обсерваторіи Juvassi (во Франціи), отмѣтившихъ ходъ температуры на различныхъ глубинахъ въ теченіе недѣли (11—17 іюля 1904 года). Изъ этой діаграммы наглядно видно, какъ постепенно уменьшались амплитуды колебаній и запаздывали моменты поворота кривыхъ суточнаго хода. На глубинѣ 0.75 метра суточныя колебанія совершенно затухали [1]).

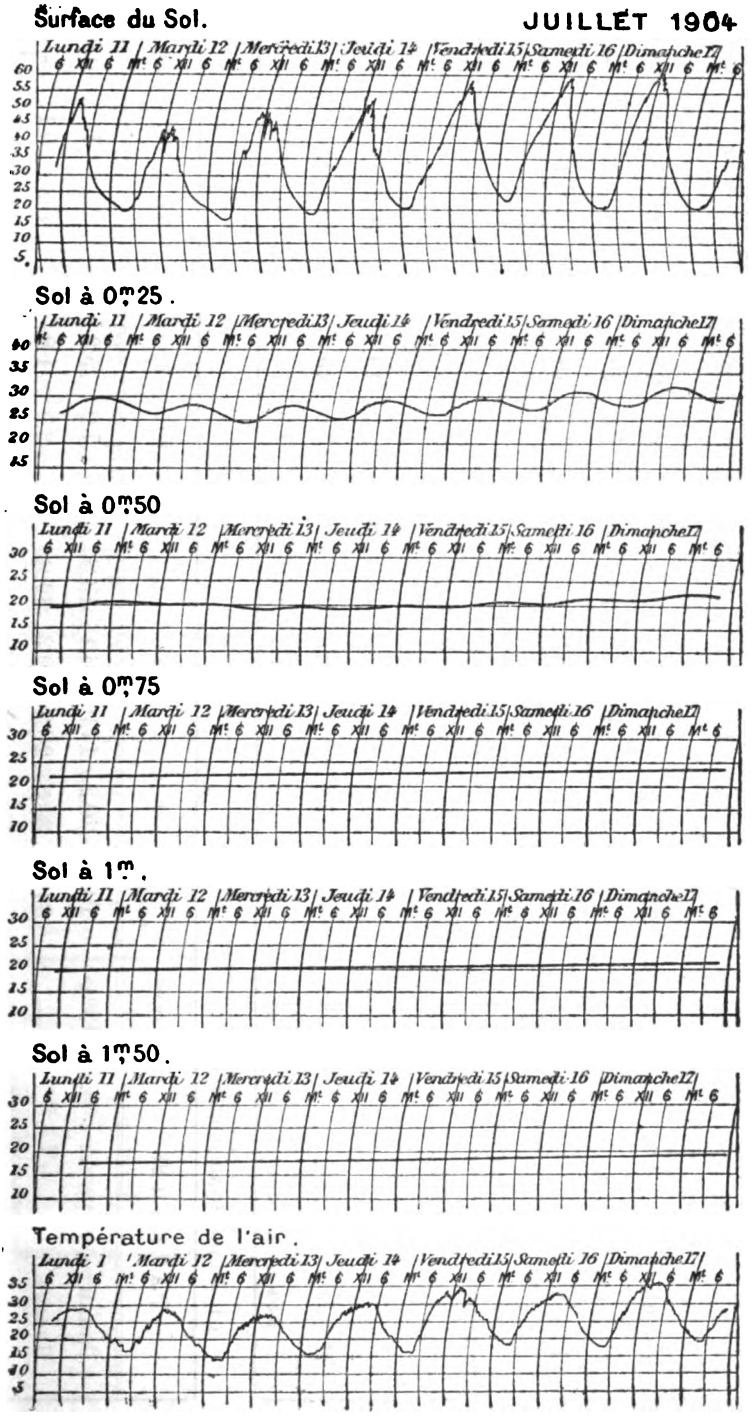
Изслѣдованія Homén'a. Homén изслѣдовалъ уменьшеніе амплитуды и запаздываніе максимума, въ зависимости отъ физическихъ свойствъ почвы. Приведемъ здѣсь нѣкоторыя числа Homén'a, въ виду ихъ выдающагося интереса. Наблюденія эти произведены 10—12 августа 1903 года въ Финляндіи (глубина выражена въ сантиметрахъ) [2]).

---

[1]) Bulletin de la société astronomique de France, Septembre, 1904, p. 402—403.

[2]) Homén. Der tägliche Wärmeumsatz im Boden etc.

Digitized by Google



Фиг. 92.

Digitized by Google

a) Средній максимумъ:

ГЛУБИНЫ	Воздухъ.	Поверхность.	0	1	2	5	10	20	30	40	50	60	70
Гранитъ	22°.7	32°.4	34.8	33.1	31.9	30.4	28.9	26.1	24.3	22.9	21.7	20.9	20.4
Песокъ	—	37.7	42.3	35.9	30.6	24.7	22.2	19.9	17.7	16.2	15.0	14.2	—
Торфъ	—	32.8	27.7	23.9	20.6	16.7	16.2	15.3	14.3	13.5	12.4	11.7	—

b) Средній минимумъ:

ГЛУБИНЫ.	Воздухъ	Поверхность.	0	1	2	5	10	20	30	40	50	60	70
Гранитъ	9°.6	12.6	14.5	15.2	15.8	16.6	17.2	18.2	19.1	19.5	19.6	19.6	19.5
Песокъ	—	6.4	7.8	9.7	11.3	12.8	14.4	15.5	15.9	15.5	14.7	14.1	—
Торфъ	—	2.2	6.3	8.9	11.1	13.9	14.8	14.9	14.2	13.4	12.4	11.6	—

c) Амплитуда колебаній:

ГЛУБИНЫ.	Воздухъ.	Поверхность.	0	1	2	5	10	20	30	40	50	60	70
Гранитъ	13°.0	19.9	20.2	17.9	16.1	13.8	11.7	7.9	5.2	3.4	2.1	1.3	0.9
Песокъ	—	31.3	34.5	26.2	19.3	11.9	7.8	3.9	1.8	0.7	0.3	0.1	—
Торфъ	—	30.6	21.4	15.0	9.5	2.8	1.4	0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	—

Digitized by Google

Отношеніе амплитудъ суточныхъ колебаній на каждые 10 сантиметровъ глубины:

ГЛУБИНЫ.	0—10	10—20	20—30	30—40	40—50	50—60	60—70
Гранитъ	1.7	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6	1.5
Песокъ.	4.5	2.0	2.1	2.6	2.5	2.3	—
Торфъ	14.7	3.6	3.3	—	—	—	—

e) Время наступленія максимума:

ГЛУБИНЫ.	Воздухъ.	Поверхность.	0	1	2	5	10	20	30	40	50	60	70
	ч. м.	ч. м.	ч. м.	ч. м.	ч. м.	ч. м.	ч. м.	ч. м.	ч. м.	ч. м.	ч. м.	ч. м.	ч. м.
Гранитъ.	3 0р	2 17р	2 0р	2 6р	2 17р	3 3р	3 50р	5 5р	7 3р	8 43р	10 32р	0 35а	2 30а
Песокъ	—	11 52а	1 7р	1 10р	1 32р	2 10р	3 33р	6 40р	9 37р	1 15а	5 25а	8 50а	—
Торфъ	—	1 13р	1 28р	2 33р	3 30р	6 10р	9 15р	3 8а	7 10а	1 50р	8 50р	3 30а	—

f) Время наступленія минимума:

ГЛУБИНЫ.	Воздухъ.	Поверхность.	0	1	2	5	10	20	30	40	50	60	70
	ч. м.	ч. м.	ч. м.	ч. м.	ч. м.	ч. м.	ч. м.	ч. м.	ч. м.	ч. м.	ч. м.	ч. м.	ч. м.
Гранитъ . . .	4 33а	4 37а	4 53а	5 15а	5 47а	6 10а	6 42а	8 5а	9 17а	10 35а	12 5р	1 23р	2 45р
Песокъ	—	3 53а	4 7а	4 23а	4 40а	5 15а	7 7а	8 17а	10 55а	2 17р	5 33р	8 47р	—
Торфъ	—	4 30а	4 43а	4 57а	5 23а	7 30а	11 10а	4 20р	10 0р	4 30а	10 40а	2 50р	—

Digitized by Google

g) Запаздываніе максимума:

ГЛУБИНЫ.	1	2	5	10	20	30	40	50	60	70
	ч. м.	ч. м.	ч. м.	ч. м.	ч. м.	ч. м.	ч. м.	ч. м.	ч. м.	ч. м.
Гранитъ	0 6	0 17	1 3	1 50	3 5	5 3	6 43	8 32	10 35	12 30
Песокъ	0 3	0 25	1 3	2 26	5 33	8 30	12 8	16 18	19 43	—
Торфъ	1 5	2 2	4 42	7 47	13 40	17 42	24 22	31 22	38 2	—

h) Запаздываніе минимума:

ГЛУБИНЫ.	1	2	5	10	20	30	40	50	60	70
	ч. м.	ч. м.	ч. м.	ч. м.	ч. м.	ч. м.	ч. м.	ч. м.	ч. м.	ч. м.
Гранитъ	0 22	0 54	1 17	1 49	3 12	4 24	5 42	7 12	8 30	9 52
Песокъ	0 16	0 33	1 8	2 0	4 10	6 48	10 10	13 26	16 40	—
Торфъ	0 14	0 40	2 47	6 27	11 37	17 17	23 47	29 57	34 7	—

i) Переходъ отъ слоя къ слою:

ГЛУБИНЫ.	0—10	10—20	20—30	30—40	40—50	50—60	60—70
	ч. м.	ч. м.	ч. м.	ч. м.	ч. м.	ч. м.	ч. м.
Гранитъ	1 50	1 15	1 58	1 40	1 49	2 3	1 55
Песокъ	2 26	3 7	2 57	3 38	4 10	3 25	—
Торфъ	7 47	5 53	4 2	6 40	7 0	6 40	—

Digitized by Google

Изъ этихъ табличекъ можно наглядно видѣть вліяніе физическаго строенія почвы на распространеніе тепла вглубь.

Теорія даетъ формулу, показывающую законъ уменьшенія амплитуды съ глубиной:

$$p_h = p_0 e^{-h\sqrt{\frac{\pi}{k\tau}}},$$

гдѣ p_0—амплитуда колебаній на поверхности,

» p_h— » » » глубинѣ h,

» τ —длина періода колебаній,

» k – температурная проводимость почвы,

т. е. частное изъ теплопроводности на теплоемкость почвы по объему. Если p_h и p_0 найдены изъ наблюденій, то можно вычислить k для различныхъ почвъ.

Слой постоянной суточной температуры. Такъ какъ амплитуды съ глубиною постепенно убываютъ, то на нѣкоторой глубинѣ долженъ находиться слой, въ которомъ амплитуда колебаній меньше погрѣшностей наблюденій, напримѣръ меньше $0^{\circ}.1$. Термометръ, установленный въ этомъ слоѣ, будетъ въ теченіе сутокъ показывать неизмѣнную температуру. Слой этотъ называется слоемъ *постоянной суточной* температуры. Глубина его зависитъ, во-первыхъ, отъ физическихъ свойствъ почвы; напримѣръ, изъ предыдущей таблицы видно (стран. 324), что на глубинѣ 60 сантиметровъ въ пескѣ и торфяной почвѣ амплитуда суточныхъ колебаній не превышаетъ $0^{\circ}.1$, а въ гранитѣ она еще равна $1^{\circ}.3$. Кромѣ того, глубина слоя постоянной суточной температуры зависитъ отъ величины амплитуды на поверхности; чѣмъ въ бо́льшихъ предѣлахъ колеблется температура на поверхности, тѣмъ глубже проникаютъ суточныя колебанія. Въ ровныхъ тропическихъ климатахъ слой постоянной суточной температуры лежитъ весьма близко къ поверхности.

Digitized by Google

Wild, въ своемъ классическомъ трудѣ о температурахъ почвы въ Павловскѣ и Нукусѣ [1]), приходитъ къ заключенію, что слой постоянной суточной температуры лежитъ не глубже 1 метра.

Годовая періодичность. Но въ ходѣ теплового состоянія почвы, въ зависимости отъ главныхъ источниковъ теплового приходо-расхода, должна существовать и другая періодичность, болѣе длиннаго періода, а именно годовая. Чтобы обнаружить эту періодичность, необходимо, извѣстнымъ образомъ, сгруппировать наши наблюденія. Если мы цифрами I, II, III... XXIV обозначимъ температуры, измѣренныя въ 1, 2, 3... час. сутокъ, считая отъ полуночи, то средняя температура сутокъ

$$T=\frac{\left(\frac{1}{2}XXIV+I+II+\ldots+XXIII+\frac{1}{2}XXIV\right)}{24}.$$

Очевидно, что T есть та температура, которую бы принялъ нашъ слой почвы, если бы всѣ суточныя температуры были сглажены и распредѣлены равномѣрно. Подобныя среднія температуры сутокъ находятъ для каждаго дня года изъ многолѣтнихъ наблюденій. Чѣмъ большее число лѣтъ будетъ положено въ основу такихъ вычисленій, тѣмъ полученныя дневныя среднія будутъ ближе къ истиннымъ. Изслѣдовать годовую періодичность значитъ изучить послѣдовательныя измѣненія среднихъ суточныхъ температуръ при переходѣ отъ одного дня къ другому. Для упрощенія работы, соединяютъ среднія суточныя температуры по пятидневіямъ (пентадамъ), десятидневіямъ (декадамъ), мѣсяцамъ. Наконецъ, средней температурой года называютъ тотъ результатъ, который получится, если среднія температуры всѣхъ сутокъ года сложимъ и раздѣлимъ на 365.

Изслѣдуемъ годовой ходъ температуры какъ на поверхности, такъ и на различныхъ глубинахъ, а для этого приведемъ среднія пятидневныя температуры на основаніи 5-лѣтнихъ наблюденій въ Одессѣ [2]).

---

[1]) Repertorium für Meteorologie. Bd. VI.

[2]) Знакомъ I отмѣчены наблюденія при естественномъ покровѣ, а знакомъ II—наблюденія при оголенной поверхности.

Digitized by Google

a) Температура:

глубина въ метрахъ	минимумъ I	минимумъ II	минимумъ разн.	максимумъ I	максимумъ II	максимумъ разн.	амплитуда I	амплитуда II	амплитуда разн.
0.1	—1°.6	—	—	29.8	—	—	31.4	—	—
0.2	—1.3	—	—	27.3	—	—	28.6	—	—
0.4	0.1	—1.2	1.3	26.4	28.6	—2.2	26.3	29.8	—3.5
0.8	2.4	1.5	0.9	23.5	25.2	—1.7	21.1	23.7	2.6
1.6	5.0	4.0	1.0	20.3	22.0	—1.7	15.3	18.0	2.7
2.0	6.1	—	—	19.0	—	—	12.9	—	—
2.5	6.9	—	—	17.5	—	—	10.6	—	—
3.2	8.4	8.0	0.4	16.4	17.2	—0.8	8.0	9.2	1.2

b) Время наступленія минимума и максимума:

глуб. въ метр.	минимумъ I	минимумъ II	максимумъ I	максимумъ II
0.1	6—10 января	—	30 іюля—3 авг.	—
0.2	11—15 »	—	» » —» »	—
0.4	11—20 »	11—15 января	9—13 авг.	9—13 авг.
0.8	25 февр.—1 март.	25 февр.—1 март.	9—13 авг.	9—13 »
1.6	2— 6 марта	2— 6 марта	3— 7 сентябр.	19—23 »
2.0	7—16 »	—	3—17 »	—
2.5	22 март.—5 апр.	—	13—27 »	—
3.2	1—5 апрѣля	6—16 апрѣля	8—12 окт.	23 сент.—7 окт.[1])

Такимъ образомъ, для распространенія минимума температуры отъ 0.1 метра до 3.2 метра требуется 84 дня, а для распространенія максимума—70 дней. Изъ этихъ чиселъ видно также, что годовой ходъ на всѣхъ глубинахъ можно выразить кривой, совершающей одно полное колебаніе въ теченіе года съ однимъ максимумомъ и однимъ минимумомъ. Сгруппируемъ эти числа по мѣсяцамъ:

[1]) Лѣтописи магнито-метеорологической обсерваторіи Императорскаго Новороссійскаго университета. 1898 годъ. Введеніе.

Digitized by Google

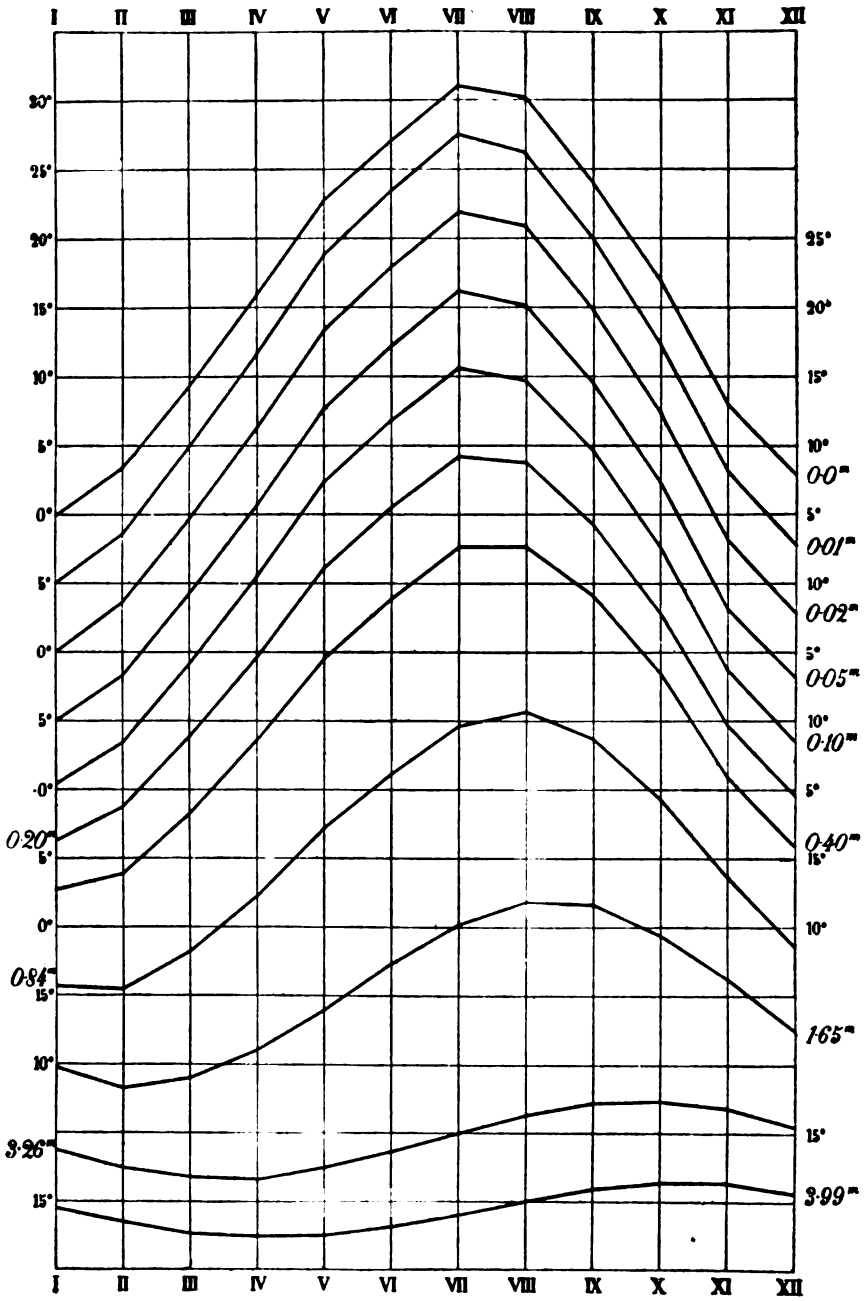
1894—1898 г.	На поверхности.			0.1	0.2	0.4			0.8			0.6			2.0	2.5	3.2		
	I	II	Diff.	I	I	I	II	Diff.	I	II	Diff.	I	II	Diff.	I	I	I	II	Diff.
январь .	—1.7	—3.3	1.6	—0.8	—0.6	0.6	—0.7	1.3	3.2	2.2	1.0	7.1	6.0	1.1	8.7	9.9	11.8	11.6	0.2
февраль .	—0.3	0.1	—0.4	0.6	0.6	1.1	0.1	1 0	2.7	1.6	1.1	5.5	4.4	1.1	6.9	8.1	10.1	9.7	0.4
мартъ .	4.4	4.1	0.3	4.1	3.9	3.6	3.0	0.6	3.9	3.1	0.8	5.2	4.4	0.8	6.2	7.1	8.9	8.5	0.4
апрѣль .	12.2	12.3	—0.1	11.1	10.6	9.4	9.8	—0.4	8.2	8.1	0.1	7.1	6.8	0.3	7.1	7.2	8.4	8.1	0.3
май . .	21.9	21.9	0 0	18.5	17.7	15.8	17.5	—1.7	13.4	14.5	—1.1	10.5	11.3	—0.8	9.7	8.9	9.1	9.1	0.0
іюнь . .	28.0	26.8	1.2	23.4	22.8	20.7	22 4	—1.7	18.0	19.7	—1.7	14.3	15.9	—1.6	12.9	11.4	10.7	11.1	—0.4
іюль . .	31.7	30.3	1.4	27.7	24.7	24.4	26.4	—2.0	21.2	22.7	—1.5	17.3	19.1	—1.8	15.7	13.9	12.6	13.3	—0.7
августъ.	29.5	28.9	0.6	27.7	26.9	25.1	26.6	—1.5	23.0	24.7	—1.7	19.8	21.9	—2.1	18.2	16.2	14.6	15.5	—0.9
сентябрь	22.2	21.8	0.4	21.9	21.7	21.1	21.5	—0 4	21.0	21.8	—0.8	19.9	21.0	—1.1	18.9	17.4	16.0	17.0	—1.0
октябрь .	14.7	14.5	0.2	14.9	15.0	15.4	15.3	0.1	16.8	16.9	—0.1	17.7	18.0	—0.3	17.6	16.9	16.3	17.0	—0.7
ноябрь .	4.9	4.9	0.0	6.0	6.4	8.0	7.4	0.6	11.3	10.7	0.6	14.4	13.9	0.5	15.1	15.3	15.5	15.9	—0.4
декабрь .	0.8	0.5	0.3	1.4	1.9	3.3	2.4	0.9	6.5	5.5	1.0	10.3	9.3	1.0	11.7	12.6	13.9	13.9	0.0
годъ . .	14.0	13.6	0.4	13.0	12.6	12.4	12.6	—0.2	12.4	12.6	—0.2	12.4	12.7	—0.3	12.4	12.1	12.3	12.6	—0.3
амплитуда	33.4	33.6	—0.2	28.5	27.5	24.5	27.3	—2.8	20.3	23.1	—2.8	14.7	17.5	—2.8	12.7	10.3	7.9	8.9	—1.0

Digitized by Google

Подобныя же числа получены нами изъ 7-лѣтнихъ наблюденій въ Тифлисѣ (фиг. 93):

1884—1890 г.	На поверхности.	0.01	0.02	0.05	0.10	0.20	0.40	0.84	1.65	3.26	3.99
январь	−0.08	−0.001	0.01	0.03	0.39	1.27	2.60	5.65	9.75	13.85	14.52
февраль	3.39	3.63	3.56	3.34	3.44	3.72	3.92	5.42	8.16	12.51	13.47
мартъ	9.27	9.90	9.70	9.22	9.22	8.79	8.20	8.12	8.97	11.76	12.64
апрѣль	15.86	16.58	16.27	15.60	15.43	14.56	13.52	12.22	10.99	11.74	12.28
май	22.70	23.70	23.33	22.63	22.34	21.07	19.51	17.08	14.05	12.46	12.47
іюнь	26.99	28.38	27.88	27.19	26 80	25.49	23.83	21.14	17.30	13.69	13.15
іюль	30 99	32 53	31.90	31.12	30.56	29.25	27.56	24.67	20.20	15.03	14.05
августъ	30.22	31.19	30.77	30.06	29.74	28.81	27.61	25.64	21.83	16.27	15.00
сентябрь	24.04	25.01	24.78	24.47	24 56	24.28	24.09	23.71	21.65	17.17	15.89
октябрь	16 90	17.34	17.32	17.30	17.58	17.86	18.38	19.27	19.42	17.34	16.37
ноябрь	7.94	8.07	8.11	8.22	8.70	9.70	11.02	13.64	16.23	16.76	16.26
декабрь	2.82	2.85	2.95	3.10	3.55	4.57	5.92	8.74	12.50	15.44	15.56
годъ	15.91	16.60	16.38	16.02	16.03	15.78	15.08	15.44	15.08	14.50	14.30
амплитуда . . .	31.07	32.53	31.89	31.09	30.17	27.98	25.01	20.22	13.67	5.60	4.09

Digitized by Google



Фиг. 93.

Digitized by Google

Приведенныя таблицы показываютъ: 1) длина періода колебаній остается безъ измѣненія на различныхъ глубинахъ; 2) амплитуда съ глубиною постепенно убываетъ; 3) время наступленія максимума и минимума постепенно запаздываетъ. Теоретически, уменьшеніе амплитуды происходитъ по выше указанному закону, т. е.

$$p_h = p_0 e^{-h\sqrt{\frac{\pi}{k\tau_1}}}, \qquad (1)$$

гдѣ $\tau_1 = 365\tau$ представляетъ длину года.

Справедливость этого теоретическаго вывода вполнѣ подтверждается наблюденіями.

Приведемъ еще нѣкоторые результаты:

a) Tokyo (1801—1900):

глубина въ м.	0	0.3	0.6	1.2	3.0	5.0	7.0
годовая ам.	26.3	21.9	18.1	13.7	5.0	1.2	0.4
maximum.	11 авг.	16 авг.	21 авг.	15 сент.	6 нояб.	2 февр.	30 апр.
minimum.	23 янв.	23 янв.	31 янв.	27 февр.	3 мая	30 іюля	30 окт.

По формулѣ (1) находимъ, что годовая амплитуда въ Tokyo [1]):

на глубинѣ 9 метровъ равна . . . $0^0.1$
» » 13 » » . . . $0^0.01$.

b) Эдинбургъ:

глубина въ метрахъ. .	0.91	1.82	3.61	7.30
годовая амплитуда . .	$8^0.2$	5.6	2.7	0.7
время наступленія макс.	19 авг.	8 сент.	19 окт.	6 янв.

c) Кенигсбергъ:

глубина въ метрахъ. .	0	1	2	3	4	5	6	7	7.5 мет.
maximum	13 іюля	1 авг.	25 авг.	15 сент.	2 окт.	21 окт.	9 нояб.	1 дек.	8 дек.
minimum	26 янв.	24 фев.	20 март.	9 апр.	23 апр.	6 мая	24 мая	14 іюня	22 іюня.

d) Амплитуда годовыхъ колебаній въ Tacubaya (Мексика):

глубина въ м.	0.15	0.30	0.60	1.20	3.00	воздухъ
амплитуда. . .	$4^0.55$	4.35	3.15	2.18	0.99	5.95.

Законы годового распространенія тепла вглубь зависятъ отъ качества почвы. Это можно видѣть изъ чиселъ Forbes'a для Эдинбурга:

[1]) Meteor. Zeitschrift, 1906, Heft 9, S. 430.

Digitized by Google

	песокъ		песчаникъ	
	ампл.	max.	ампл.	max.
1 метръ . . .	11°.23	31 іюля	9°.58	5 августа
1.9 » . . .	8.30	24 авг.	7.72	19 августа
3.9 » . . .	4.19	7 окт.	5.22	11 сентяб.
7.8 » . . .	1.16	30 дек.	2.28	11 ноября.

Слѣдовательно, для того, чтобы максимумъ проникъ отъ 1 метра до 7.8 метра нужно въ пескѣ 152 дня, а въ песчаникѣ —98 дней. На глубинѣ же 9 метровъ, въ пескѣ опозданіе равно 6 мѣсяцамъ, т. е. на этой глубинѣ минимумъ наступаетъ въ то время, когда температура на поверхности проходитъ черезъ максимумъ. Но необходимо замѣтить, что на этой глубинѣ амплитуда колебаній крайне ничтожна.

Температура почвы въ лѣсу и въ открытомъ полѣ. На движеніе тепла въ почвѣ, кромѣ качества грунта, вліяютъ также и другія обстоятельства. Напримѣръ, тепловое состояніе почвы совершенно различно въ лѣсу и въ открытомъ полѣ, какъ это видно изъ наблюденій прусскихъ лѣсныхъ станцій:

Температура въ градусахъ С.	Мѣсяцы.	Глубина 0 6 m.			Глубина 1.2 m.		
		Поле	Лѣсъ	Diff.	Поле	Лѣсъ	Diff.
	Январь	1.7	2.1	—0.4	3.3	3.5	—0.2
	Февраль	1.4	1.7	—0.3	2.7	2.8	—0.1
	Мартъ	1.9	2.0	—0.1	2.7	2.7	0.0
	Апрѣль	4.5	3.7	+0.8	4.1	3.6	+0.5
	Май	9.1	7.1	+2.0	7.3	5.8	+1.5
	Іюнь	14.0	11.2	+2.8	10.7	8.4	+2.3
	Іюль	15.0	12.0	+3.0	12.8	10.1	+2.7
	Августъ.	14 9	12.4	+2.5	13.8	11.0	+2.8
	Сентяб.	13.1	11.5	+1.6	12.8	10.8	+2.0
	Октябрь	9.3	8.6	+0.7	10.3	9 2	+1.1
	Ноябрь	5.5	5.6	—0.1	7.2	6.9	+0.3
	Декабрь	3.0	3.4	—0.4	4.8	4.9	—0.1

Digitized by Google

Лѣсъ, слѣдовательно, дѣйствуетъ умѣряющимъ образомъ; средняя температура въ полѣ выше, чѣмъ въ лѣсу:

на глубинѣ 0.6 метра на 3°.0 (въ іюлѣ),
» » 1.2 » » 2.8 (въ августѣ).

Вліяніе наружнаго покрова. Такое же умѣряющее дѣйствіе имѣетъ состояніе наружнаго покрова почвы. Въ прежнее время наблюдали температуру почвы при оголенной поверхности. Благодаря иниціативѣ проф. Воейкова, принята теперь болѣе раціональная система почвенныхъ наблюденій; поверхность почвы оставляется при естественномъ своемъ состояніи: зимою—снѣгъ, лѣтомъ—растительный покровъ. Вліяніе покрова можно видѣть изъ слѣдующихъ наблюденій:

а) Одесса (на глубинѣ 1.6 метра):

	естественный покровъ	оголенная поверхность	разность
январь	7°.3	6°.4	+0°.9
февраль . . .	5.9	5.0	+0.9
мартъ	5.5	4.9	+0.6
апрѣль. . . .	7.4	7.2	+0.2
май	10.8	11.4	—0.6
іюнь	14.6	16.0	—1.4
іюль.	17.3	19.0	—1.7
августъ . . .	19.5	21.4	—1.9
сентябрь . . .	19.4	20.5	—1.1
октябрь . . .	17.5	17.9	—0.4
ноябрь. . . .	14.0	13.7	+0.3
декабрь . . .	10.4	9.6	+0.8
годъ.	12.5	12.8	—0.3

Какъ видно, въ зимніе мѣсяцы температура на глубинѣ 1.6 метра при естественномъ покровѣ выше, чѣмъ подъ оголенной поверхностью; въ лѣтніе мѣсяцы имѣетъ мѣсто обратное соотношеніе. Вліяніе естественнаго покрова сказывается еще довольно явственно на глубинѣ 3.2 метра. Такъ, разность между средними мѣсячными температурами почвы въ сентябрѣ при естественномъ и искусственномъ покровѣ достигаетъ 1°.0.

Digitized by Google

b) Павловскъ (на глубинѣ 0.2 метра):

	окт.	нояб.	дек.	янв.	февр.	март.	апр.	май
естествен. покр.	5°.6	1.3	0.5	0.4	—0.1	0.0	1.1	9.6
искусств. »	3.9	—1.6	—5.4	—9.2	—6.4	—3.1	2.3	10.0
разность . . .	1.7	2.9	5.9	9.6	6.3	3.1	—1.2	—0.4

c) Лѣсной Институтъ:

	0.2 метра			0.8 метра		
	естеств.	искусст.	разность	естест.	искусст.	разность
февраль . .	—0°.5	—8.9	+ 8.4	1.7	—3.9	+5.6
мартъ . . .	—0.3	—3.0	+ 2.7	1.2	—1.7	+2.9
апрѣль. . .	0.0	1.6	— 1.6	1.2	0	+1.2
іюль	16.8	21.6	— 4.8	12.8	17.4	—4.6
августъ . .	14.4	16.3	— 1.9	12.5	15.3	—2.8
амплитуда.	17.3	30.5	—13.2	11.6	21.3	—9.7

Въ Павловскѣ, при одномъ изъ наблюденій, поверхность почвы, покрытая снѣгомъ, имѣла температуру —3°.0; въ то же время, термометръ, установленный на поверхности, очищенной отъ снѣга, показывалъ—12°.0. Отсюда видно, какое громадное значеніе для теплового состоянія почвы имѣетъ снѣговой покровъ.

Измѣненія температуры почвы по вертикальному направленію въ отдѣльные моменты года. Разсмотримъ еще одинъ вопросъ. Какія измѣненія температуры мы встрѣтимъ въ верхнихъ слояхъ почвы, если въ извѣстный день года будемъ опускаться внизъ по вертикальному направленію? Заранѣе можно сказать, что характеръ этихъ измѣненій будетъ зависѣть отъ времени года. Вотъ что можно видѣть изъ записей метеорологической обсерваторіи въ Одессѣ:

Температура въ градусахъ С	Наблюденія въ 1898 г.	Глубина въ метрахъ.					
		0.4	0.8	1.6	2.0	2.5	3.2
	15-го января	0.6	2.8	6.6	8.3	9.7	11.8
	15-го іюля	20.8	19.1	16.4	15.0	13.3	12.2
	15-го апрѣля	7.8	7.2	6.0	6.2	6.6	8.1
	15-го октября	11.8	14.9	17.0	17.0	16.3	15.8

Digitized by Google

Эта таблица показываетъ, что температура съ глубиною

15 января повышается отъ $0^0.6$ до $11^0.8$;
15 іюля понижается » 20.8 » 12.2;
15 апрѣля—болѣе холодный слой лежитъ между двумя слоями болѣе теплыми;
15 октября имѣетъ мѣсто обратное соотношеніе.

Слой постоянной годовой температуры. Теорія и наблюденія одинаково приводятъ къ тому заключенію, что съ глубиною амплитуда годовыхъ колебаній постепенно уменьшается, т. е. годовыя колебанія затухаютъ. На извѣстной глубинѣ лежитъ слой, годовая амплитуда котораго меньше возможныхъ погрѣшностей наблюденій и не превышаетъ извѣстной величины, напр. $0^0.1$. Можно считать, что слой этотъ не принимаетъ болѣе участія въ годовыхъ колебаніяхъ температуры. Это слой *постоянной годовой температуры*. Въ подвалахъ парижской обсерваторіи, еще въ 1783 году былъ установленъ, на глубинѣ 27.6 метра, термометръ, и неизмѣнное многолѣтнее его показаніе было $11^0.85$. Глубина слоя постоянной температуры зависитъ, подобно тому какъ и глубина слоя постоянной *суточной* температуры, отъ физическихъ свойствъ почвы и отъ амплитуды годовыхъ колебаній на поверхности. Колебанія, совершающіяся на поверхности въ болѣе широкихъ предѣлахъ, проникаютъ глубже и обратно. Для убыванія амплитуды съ глубиною существуетъ, какъ мы видѣли, формула:

$$p_h = p_0 e^{-h\sqrt{\frac{\pi}{k\tau_1}}} \qquad (1)$$

Если бы постоянная k была извѣстна для данной почвы, то мы могли бы опредѣлить для нея теоретически глубину, на которой амплитуда $p_h = 0^0.1$ или $0^0.01$; но опредѣленіе числового значенія коэффиціента k представляетъ значительныя трудности вслѣдствіе неоднородности почвы; поэтому, глубину слоя постоянной годовой температуры опредѣляютъ путемъ экстраполяціи. Изъ формулы (1) имѣемъ:

$$\log p_h = \log p_0 - h\sqrt{\frac{\pi}{k\tau_1}},$$

$$\log p_h = \log p_0 - Ah \quad ,$$

Digitized by Google

Внося въ это уравненіе, вмѣсто p_0, амплитуду колебаній на поверхности, а вмѣсто p_h амплитуды колебаній на различныхъ глубинахъ h, можно помощью способа наименьшихъ квадратовъ вычислить коэффиціентъ A. Полученное уравненіе дастъ тогда возможность опредѣлить ту глубину, на которой $p_h = 0^0.1$ или $0^0.01$. Такія вычисленія дали слѣдующіе результаты:

	$0^0.1$	$0^0.01$
Петербургъ . . .	15.6 метра	22.0 метра
Эдинбургъ	11.9 »	18.0 »
Упсала	13.2 »	19.0 »
Цюрихъ.	15.2 »	22.0 »
Парижъ	14.6 »	21.0 »
Брюссель	15.8 »	23.0 »

Wild находитъ, что тотъ слой, въ которомъ годовое колебаніе не обнаруживается болѣе нашими метеорологическими термометрами, лежитъ на глубинѣ отъ 15 до 30 метровъ. Если бы мы мысленно провели непрерывную поверхность черезъ всѣ точки, въ которыхъ впервые затухаютъ годовыя колебанія температуры почвы, то мы бы получили весьма сложную форму; въ нѣкоторыхъ мѣстахъ она подходила бы ближе къ дневной поверхности (въ морскихъ климатахъ, особенно тропическаго пояса), въ другихъ—она отходила бы вглубь почвы (въ континентальныхъ странахъ). Въ Одессѣ, глубина этого слоя, найденная экстраполяціей, равна приблизительно 20 метрамъ.

Средняя годовая температура слоевъ, лежащихъ на различныхъ глубинахъ. Средняя годовая температура различныхъ слоевъ выражается слѣдующими числами:

а) Одесса.

	естествен. покровъ	огол. пов.	разность
на поверхности	$14^0.3$	$14^0.0$	$+0^0.3$
» глубинѣ 0.1 метра . .	13.1	—	
» » 0.2 » . .	12.2	—	
» » 0.4 » . .	12.5	12.7	—0.2
» » 0.8 » . .	12.6	12.5	—
» » 1.6 » . .	12.5	12.7	—0.2
» » 2.0 » . .	12.6	—	—
» » 2.5 » . .	12.0	—	—
» » 3.2 » . .	12.3	12.7	—0.4

Digitized by Google

Если этотъ законъ имѣетъ мѣсто и дальше, то можно сказать, что температура слоя постоянной температуры въ Одессѣ равна приблизительно 12°.5.

b) Тифлисъ.

поверхность . .	15°.91	0.40 метра . .	15.08
0.01 метра. . .	16.60	0.84 » . .	15.44
0.02 » . .	16.38	1.65 » . .	15.08
0.05 » . .	16.02	3.26 » . .	14.50
0.10 » . .	16.03	3.99 » . .	14.30
0.20 » . .	15.78		

c) Tokyo.

	minimum	maximum	годъ
воздухъ	2°.91 (янв.)	25°.96 (авг.)	13.93
поверхн.	2.57 (янв.)	28.84 (авг.)	15.55
0.3 метра	4.59 (янв.)	26.49 (авг.)	15.26
0.6 »	6.71 (февр.)	24.79 (авг.)	15.57
1.2 »	8.83 (февр.)	22.54 (сент.)	15.43
3.0 »	13.08 (май)	18,09 (ноябр.)	15.50
5.0 »	14.89 (іюль и авг.)	16.12 (янв.)	15.51
7.0 »	15.20 (октябрь)	15.57 (апр.)	15.38

Повидимому, средняя годовая температура различныхъ слоевъ почвы въ данномъ мѣстѣ приблизительно одна и та же. Такой постоянной температурой въ Одессѣ является 12°.5, на 2°.5 выше средней годовой температуры воздуха, измѣренной на высотѣ 3 метровъ. Въ Tokyo этотъ избытокъ равенъ 1°.5. Въ Тифлисѣ средняя годовая температура различныхъ слоевъ съ глубиною постепенно понижается. Наиболѣе высокая средняя годовая температура наблюдается, повидимому, въ слоѣ, лежащемъ на глубинѣ около 0.01 метра.

Мы видѣли, что средняя годовая температура слоевъ почвы, лежащихъ на различныхъ глубинахъ, приблизительно, одинакова; это даетъ основаніе предполагать, что доступная наблюденію толща земли находится въ *стаціонарномъ* тепловомъ состояніи, а слѣдовательно, приходъ тепла, получаемаго корой снизу, отъ земного ядра, равенъ его расходу въ междупланет-

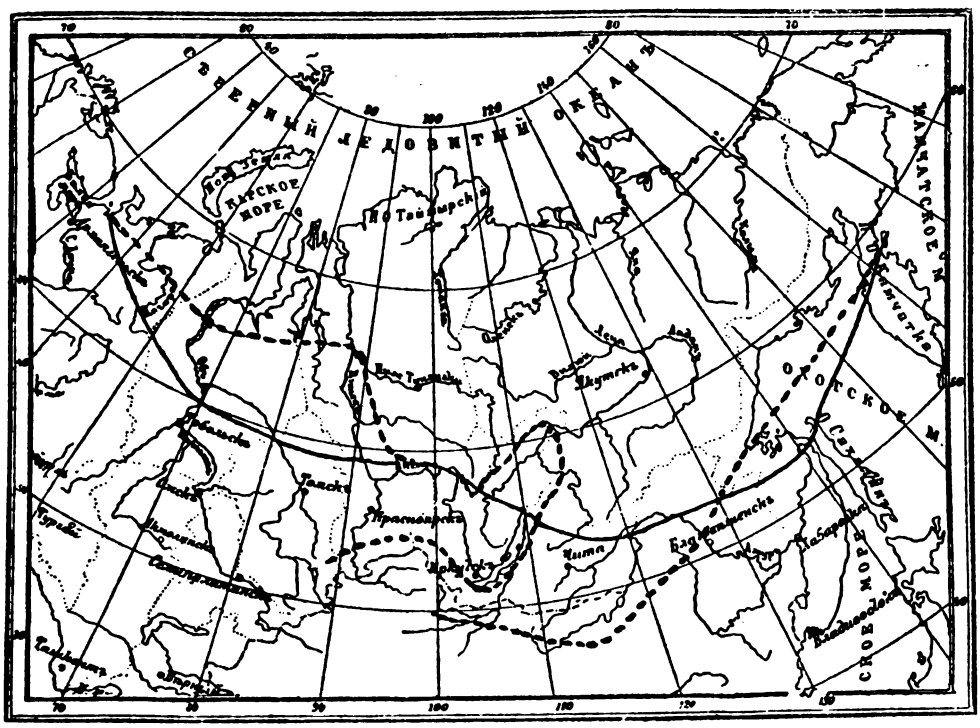
Digitized by Google

ную среду. Можно предполагать, что собственная тепловая энергія земного ядра не имѣетъ никакого вліянія на тепловое состояніе верхнихъ слоевъ и атмосферы, а слѣдовательно, не играетъ никакой роли въ метеорологическихъ процессахъ. По вычисленію Hann'a, количество теплоты, получаемое въ теченіе года каждымъ квадратнымъ сантиметромъ земной поверхности, снизу равно 54.2 малыхъ калорій.

Вѣчная мерзлота. Еще недавно высказывалось мнѣніе, что температура слоя постоянной температуры въ экваторіальныхъ странахъ нѣсколько ниже температуры воздуха на поверхности; въ болѣе высокихъ широтахъ имѣетъ мѣсто обратное соотношеніе. На переходѣ, слѣдовательно, долженъ существовать поясъ, въ которомъ температура постояннаго слоя равна средней годовой температурѣ воздуха на поверхности. Во всякомъ случаѣ, между этими температурами должна существовать извѣстная зависимость: чѣмъ ниже средняя годовая температура на поверхности, тѣмъ ниже температура слоя постоянной температуры. Но въ полярныхъ странахъ средняя годовая температура на поверхности земли ниже 0°; слѣдовательно, слой постоянной температуры будетъ имѣть также температуру ниже 0°; другими словами, въ полярныхъ странахъ на извѣстныхъ глубинахъ долженъ существовать слой вѣчно мерзлой почвы, болѣе или менѣе значительной мощности. Можно даже указать границу этой области. Граница эта (фиг. 94) проходитъ нѣсколько сѣвернѣе Архангельска (смотр. пунктирную кривую), пересѣкаетъ Уральскій хребетъ подъ 65° с. ш., идетъ далѣе сѣвернѣе Томска и огибаетъ Байкальское озеро подъ 51° с. ш., спускается въ области рѣки Амура даже до 48° с. ш., затѣмъ поднимается и пересѣкаетъ Камчатку подъ 58° с. ш.; Америку эта граница встрѣчаетъ уже подъ 64° с. ш., проходитъ ниже форта Симпсона и спускается около Гудзонова залива до 51° с. ш., а затѣмъ снова поднимается къ сѣверу. Слѣдовательно, Гренландія, полуостровъ Кола и почти вся сѣверная Азія принадлежатъ къ мѣстамъ, гдѣ слой постоянной температуры состоитъ изъ промерзшей почвы. Не нужно думать, что кривая, которая служитъ южной границей слоя постоянной температуры, состоящаго изъ промерзшей почвы, есть въ то же время и граница всякой растительности. И сѣвернѣе этой границы можно встрѣтить еще растительную культуру. Растительности здѣсь благо-

Digitized by Google

пріятствуетъ *оттаиваніе верхняго слоя почвы во время лѣта.* Такъ, въ Сибири, около Якутска, подъ 62° с. ш. еще занимаются хлѣбопашествомъ, а въ Америкѣ около устья рѣки Мэкензіевой воздѣлываютъ землю даже подъ 64—65° с. ш. Мощность слоя съ постоянно промерзшей почвой бываетъ весьма значительна. На это указываютъ наблюденія, сдѣланныя въ Якутскѣ въ довольно глубокой шахтѣ. Она была начата Шаргинымъ въ 1828 г. съ цѣлью сдѣлать колодезь. Сначала было вырыто земли около



Фиг. 94.

9 m., но слой промерзшей почвы все еще продолжался. Въ началѣ 30 годовъ продолжили эту скважину до глубины 38 m. Вскорѣ затѣмъ посѣтилъ этотъ колодезь извѣстный путешественникъ Врангель и посовѣтовалъ углубить его для научныхъ цѣлей. Въ 1837 г. онъ былъ доведенъ уже до глубины 116.4 m.; но, такъ какъ почва все еще была промерзшей, то этотъ колодезь былъ сверху задѣланъ. Въ 1840 г. Академія Наукъ пору-

Digitized by Google

чила Миддендорфу изслѣдовать температуру почвы на различныхъ глубинахъ этого колодца, и онъ нашелъ на глубинѣ 6 m. — 10.2° Ц., а на днѣ — 3° Ц. Изъ этихъ наблюденій мы видимъ, что промерзшая почва существуетъ на значительной глубинѣ.

Промерзаніе почвы. Разсмотримъ еще вопросъ о зимнемъ промерзаніи почвы. Въ зимніе мѣсяцы промерзаетъ слой почвы извѣстной толщины. Въ практическомъ отношеніи (при проведеніи водопроводныхъ трубъ, закладкѣ фундаментовъ), весьма важно знать, до какой глубины можетъ достигать промерзаніе почвы, т. е. паденіе ея температуры ниже нуля. Въ Одессѣ, наиболѣе низкая температура отмѣчена 24 февраля 1907 года на глубинѣ 0.8 метра (—0°.1). На глубинѣ же 1.6 метра минимумъ температуры равнялся 3°.7. Промерзающій слой лежалъ, слѣдовательно, между 0.8 и 1.6 метра. Если допустимъ, что измѣненія температуры идутъ пропорціонально глубинѣ, то нетрудно вычислить, путемъ графической интерполяціи, что промерзаніе почвы въ Одессѣ, на основаніи имѣющихся данныхъ (14 лѣтнихъ наблюденій), можетъ достигать глубины 0.82 метра (около $1^1/_4$ аршина). Въ другихъ пунктахъ земного шара получены слѣдующія числа для глубины промерзанія, при оголенной поверхности:

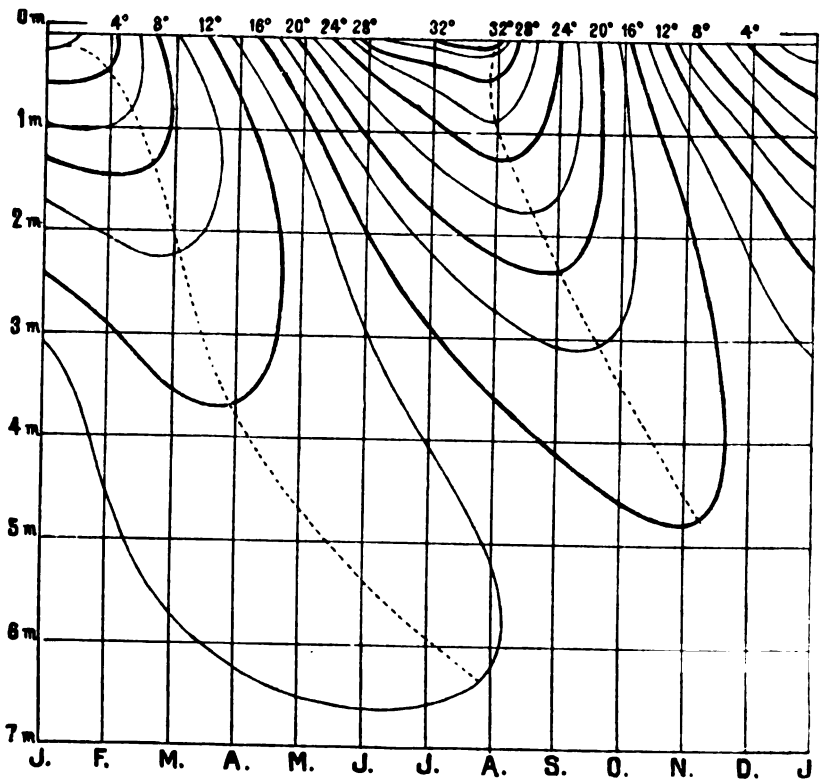
въ Тифлисѣ	наибольшая	глубина	промерзанія . . .	0.4 метра
» Брюсселѣ	»	»	» . . .	0.7 »
» Вѣнѣ	»	»	» . . .	0.8 »
» Кенигсбергѣ	»	»	» . . .	1.25 »
» Павловскѣ	»	»	» . . .	1.6 »
» Парижѣ (подъ очищ. почвой)			глубина промерз. .	0.6 »
» » (при естеств. поверхн.)			» » .	0.3 »

По Вильду, слой снѣга защищаетъ почву такъ, какъ слой песка двойной толщины.

Изоплеты. Графически легко выразить зависимость между двумя перемѣнными величинами, напримѣръ, зависимость между температурой почвы и глубиной, между температурой почвы и часами дня и т. п. Для этого нужно, какъ мы видѣли, на оси абсцисъ отложить равныя части, выражающія, напримѣръ, часы сутокъ и изъ точекъ дѣленія возставить перпендикуляры, пропорціональныя температурамъ, соотвѣтствующимъ раз-

Digitized by Google

личнымъ часамъ. Кривая, соединяющая оконечности перпендикуляровъ и выразитъ графически искомый законъ. Но иногда нужно выразить зависимость, существующую между тремя перемѣнными, напримѣръ, зависимость температуры почвы отъ глубины и отъ времени года. Для этого, попрежнему, возьмемъ двѣ взаимно пересѣкающіяся подъ прямымъ угломъ прямыя линіи. На оси ординатъ (фиг. 95) отложимъ равныя части, пропорціо-



Фиг. 95.

нальныя глубинамъ 1 м., 2 м., 3 м. и т. д. Изъ точекъ дѣленія *J*, *F*, *M*, .. проведемъ прямыя параллельныя оси ординатъ. На первой прямой, въ точкахъ ея пересѣченія съ прямыми параллельными оси абсциссъ, напишемъ среднія температуры, найденныя для января на глубинахъ 1 м., 2 м. и т. д. Тоже сдѣлаемъ соотвѣтственно на прямыхъ, проведенныхъ черезъ точки *F*, *M* и т. д. Примѣняя графическую интерполяцію, и соединяя точки,

Digitized by Google

соотвѣтствующія одинаковымъ температурамъ, непрерывными кривыми, получимъ систему кривыхъ, представленную на фигурѣ 95. Если мы, на полученномъ чертежѣ, будемъ идти по линіямъ параллельнымъ оси ординатъ, то получимъ наглядное представленіе о средней температурѣ, господствующей на различныхъ глубинахъ въ январѣ, февралѣ и т. д. Если же будемъ перемѣщаться по прямымъ, параллельнымъ оси абсциссъ, то найдемъ измѣненія температуры на различныхъ глубинахъ въ различные мѣсяцы года. Подобныя карты изоплетъ даютъ весьма наглядное представленіе о ходѣ и характерѣ измѣненій какого нибудь метеорологическаго фактора въ зависимости отъ другихъ двухъ перемѣнныхъ. Строго говоря, эту зависимость слѣдуетъ выразить не на плоскости, а въ пространствѣ. Во взятомъ выше примѣрѣ, на двухъ взаимно перпендикулярныхъ прямыхъ нужно отложить части, выражающія мѣсяцы и глубины, а на перпендикулярахъ, возставленныхъ изъ различныхъ точекъ плоскости,—соотвѣтствующія температуры. Черезъ оконечности этихъ перпендикуляровъ провести непрерывную поверхность. Ходъ этой поверхности и выразитъ ходъ температуры на различныхъ глубинахъ и въ разное время года. Разсѣчемъ нашу поверхность плоскостями, параллельными первоначально взятой нами основной плоскости. Если полученные въ сѣченіи контуры проектируемъ на ту же основную плоскость, то и получимъ, очевидно, систему *изоплетъ*.

Литературныя указанія.

A) *Солнечный климатъ.*

1) Halley. A discourse concerning the proportional heat of the Sun in all latitudes. Phil. Trans. for the year 1693. Vol. XVII.

2) Lambert. Pyrométrie. Berlin. 1779.

3) Poisson Théorie mathématique de la chaleur. Paris. 1835.

4) Meech. On the relative intensity of the heat and light of the Sun. Smithsonian contributions to Knowledge, Vol. IX, 1856.

5) Lambert. Lois de l'insolation (Comptes Rendus de l'Acad. des Sciences. T. LXV, Paris, 1867).

6) Wiener. Ueber die Stärke der Bestrahlung der Erde durch die Sonne (Schlömilch's Zeitschrift für Mathem. und Physik, 1877, T. 22).

Digitized by Google

7) Angot. Recherches théoriques sur la distribution de la chaleur à la surface du globe (Annales du Bureau Central Met. de France, Paris. 1885).

8) Zenker. Die Vertheilung der Wärme auf der Erdoberfläche. Berlin. 1888.

9) Hargreaves. Distribution of Solar Radiation on the Surface of the Earth. Cambridge Phil. Trans. Vol. XVI, Part. I, 1896.

10) Hopfner. Die Vertheilung der solaren Wärmestrahlung auf der Erde. (Sitzungsber. der Wiener Akad. der Wissenschaften. Math.-nat. Klasse, Bd. CXIV, Abt. IIa, 1906.

B) *Температура почвы.*

11) * Pernet. Ueber die Bestimmung von Erdtemperaturen mit Thermoketten. Wild's Repertorium für Meteorologie, Bd. II.

12) * Wild. Ueber die Bodentemperaturen in St.-Petersburg und Nukuss. Ibid. Bd. VI.

13) * Leyst. Ueber die Bodentemperatur in Pawlowsk., ibid. Bd. XIII.

14) * Fritsche. Ueber die Temperatur des Erdbodens in Peking., ibid. Bd. II.

15) * Vannary. Sur la température du sol dans certains endroits de l'Empire de Russie. Mémoires de l'Académie Imp. d. Sc. de St.-Pétersb. Sér. VIII, Vol. V.

16) * Статьи въ журналѣ: Annales du bureau météorologique central de France.

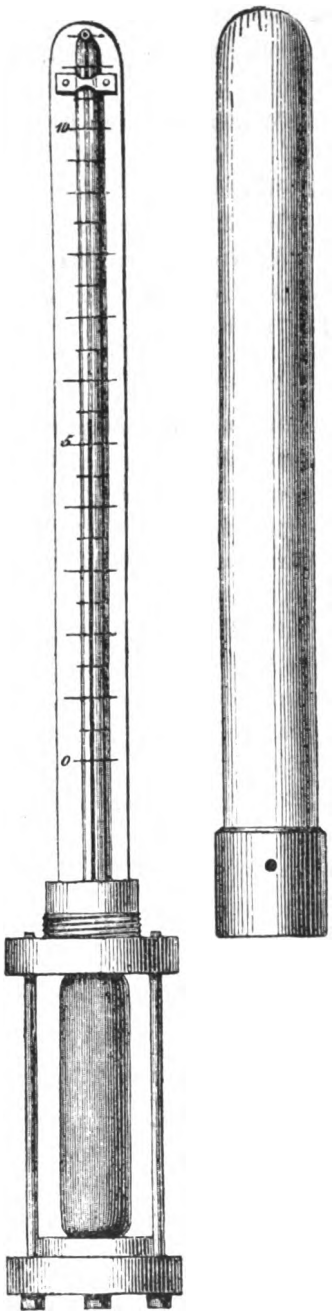
VIII.

Тепловое состояніе земного ядра.

Повышеніе температуры ниже слоя постоянной годовой температуры. Геотермометръ Магнуса. Результаты наблюденій въ шахтахъ, буровыхъ скважинахъ; геотермическая ступень. Наблюденія въ туннеляхъ. Вѣроятность высокихъ температуръ въ нѣдрахъ земли. Гипотезы относительно физическаго строенія земного ядра. Опыты Таманна. Новѣйшія воззрѣнія. Литературныя указанія.

Повышеніе температуры ниже слоя постоянной годовой температуры. Всѣ наблюденія, произведенныя ниже слоя по-

Digitized by Google



Фиг. 96.

стоянной годовой температуры, показали, что температура съ глубиною постепенно повышается. Подобныя наблюденія произведены въ рудникахъ и шахтахъ, въ артезіанскихъ колодцахъ, въ буровыхъ скважинахъ и, наконецъ, въ туннеляхъ. Въ рудникахъ можно наблюдать температуру воздуха, температуру воды, выступающей изъ горныхъ породъ шахты, температуру горной породы. Но первые два способа не могутъ дать точныхъ результатовъ. Температура воздуха въ шахтѣ можетъ видоизмѣняться значительно вслѣдствіе присутствія людей, лампъ, вентиляціи, холодныхъ токовъ падающихъ сверху. Вытекающая изъ горныхъ породъ вода можетъ приносить температуру болѣе высокихъ горизонтовъ, изъ которыхъ она падаетъ. Остается, слѣдовательно, наблюдать температуру самой горной породы. Недостаточно точные результаты даютъ также измѣренія въ артезіанскихъ колодцахъ, вслѣдствіе конвекціонныхъ токовъ, охлаждающихъ нижніе слои и согрѣвающихъ верхніе. Наиболѣе точныя данныя получены въ буровыхъ скважинахъ.

Геотермометръ Магнуса. При геотермическихъ измѣреніяхъ примѣняется *геотермометръ Магнуса.* Геотермометръ Магнуса (фиг. 96) представляетъ большой термометровидный, открытый сверху, сосудъ, наполненный ртутью. При темпера-

Digitized by Google

турѣ наружнаго воздуха ртуть доходитъ, положимъ, до высоты a. Затѣмъ вставляютъ этотъ геотермометръ въ горную породу, температуру которой желаютъ опредѣлить. Такъ какъ температура этого слоя бываетъ, обыкновенно, выше температуры наружнаго воздуха, то ртуть, вслѣдствіе расширенія, дойдетъ до верхняго края трубки и часть ея выльется. Геотермометръ этотъ окруженъ стеклянной гильзой и вылившаяся ртуть можетъ быть взвѣшена. По вѣсу этой ртути, помощью простого вычисленія, находятъ maximum температуры того слоя, въ который былъ помѣщенъ геотермометръ. Но можно и безъ вычисленія опредѣлить эту температуру. Помѣщаютъ геотермометръ въ стаканъ съ водою и нагрѣваютъ воду до тѣхъ поръ, пока ртуть не дойдетъ до верхняго края трубки; если измѣрить температуру воды въ это мгновеніе, то получится, вмѣстѣ съ тѣмъ, температура изслѣдуемаго слоя.

Результаты наблюденій въ шахтахъ и буровыхъ скважинахъ; геотермическая ступень. Ячевскій [1]) насчитываетъ въ настоящее время 275 болѣе значительныхъ пунктовъ, для которыхъ имѣются болѣе надежныя данныя. Станціи эти расположены, главнымъ образомъ, въ среднихъ широтахъ. Наибольшая глубина рудниковъ и каменноугольныхъ копей не превышаетъ 1500 метровъ. Каменноугольныя копи Flénus въ Бельгіи находятся на глубинѣ 1150 метровъ. Мѣдный рудникъ Hecla на Верхнемъ Озерѣ—1396 метровъ. Глубже въ землю проникаютъ буровыя скважины:

	глубина въ метрахъ	температура на днѣ
Sperenberg (близъ Берлина) . .	1268	48°.1
Marietta	1360	43.9
Pittsburg	1703	49.4
Schladebach	1716	56.6
Paruschowitz	2003	70.0

Наиболѣе глубокая скважина доходитъ до глубины 2003 метровъ, что приблизительно составляетъ $\frac{1}{3200}$ часть земного радіуса. Наиболѣе высокая температура, непосредственно изме-

[1]) Ячевскій. О термическомъ режимѣ поверхности земли. Спб. 1905.

Digitized by Google

ренная, равна 70°. Повышеніе температуры съ глубиною найдено вездѣ, даже въ мерзлой почвѣ Якутска:

глубина	температура	глубина	температура
2.1 метра.	—11°.1	60.9 метра . . .	—4°.8
3.7 »	—10.2	76.2 » . . .	—4.2
6.1 »	—10.2	91.4 » . . .	—3.9
15.2 »	— 8.3	106.7 » . . .	—3.4
30.4 »	— 6.5	116.4 » . . .	—3.0
45.7 »	— 5.5		

Степень повышенія температуры съ глубиною весьма различна. Мѣрою этого повышенія можетъ служить число градусовъ, на которое увеличивается температура на каждые 100 метровъ вертикальнаго пониженія или число метровъ, на которое нужно опуститься по вертикальному направленію вглубь, чтобы температура повысилась на 1° (геотермическая ступень). Средняя величина геотермической ступени для 17 болѣе значительныхъ артезіанскихъ колодцевъ равна 33.3 метра. Въ буровыхъ скважинахъ:

	геотермическая ступень	повышеніе на 100 м.
Creusot	26.5 метра	3°.77
Sperenberg	33.7 »	2.97
Schladebach . . .	36.8 »	2.71
Paruschowitz . . .	34.0 »	2.94
Lieth	35.1 »	2.85
Pittsburg	34.0 »	2.94.

Такимъ образомъ, геотермическая ступень весьма различна въ различныхъ мѣстностяхъ и въ различныхъ буровыхъ скважинахъ. Различіе это объясняется различіемъ въ теплопроводности и теплоемкости породъ, а также, быть можетъ, незаконченными химическими процессами, сопровождающимися выдѣленіемъ тепла. Особенно велики колебанія въ рудникахъ, какъ это видно изъ слѣдующихъ примѣровъ:

Digitized by Google

	повышеніе на 100 метр. среднее	мин.	макс.
металлическіе рудники Корнвалиса . .	3°.22	2.15	6.25
Саксонскіе »	2.35	0.85	6.25
рудники Англіи и Бразиліи	1.88	1.16	5.26
рудники Anzin въ сѣв. Франціи . .	—	3.73	6.51

Геотермическая ступень найдена:

въ скважинахъ Macholes и Charmoy .	14—26 метровъ
» Comstock'oй жилѣ	18.0 »
» Pittsburg'ѣ	34.0 »
» округѣ Minas Geraes (Бразилія) . .	86.0 »
» мѣдныхъ рудникахъ на Верхнемъ Озерѣ по Wheller'y	122.8 »
а по новѣйшимъ наблюденіямъ Lanc'a .	69.2 [1]) »

Величина ступени колеблется въ значительныхъ предѣлахъ не только въ мѣстностяхъ, болѣе или менѣе удаленныхъ другъ отъ друга, но даже въ одной и той же скважинѣ. Въ наиболѣе рѣзкой формѣ это выражено въ скважинѣ Hagueпau, изслѣдованной Daubrée, въ которой градіентъ колеблется отъ 8.2 до 12.2 м., а градіентъ для промежуточныхъ глубинъ достигаетъ 105.3 м. Branco отмѣчаетъ въ скважинѣ Pechelbronn неизмѣнную температуру въ 21° въ слоѣ мощностью въ 47 метровъ. Werveke, для скважинъ Oberkreutzhausen, даетъ величины градіентовъ отъ 1.5 до 24.4 метра. Въ шахтахъ Formann, на Комстокской жилѣ, среди поясовъ съ высшею температурою встрѣчаются поясы съ низшей. Примѣръ полнаго отступленія отъ обыденно принимаемыхъ нормъ представляютъ термическія условія въ ртутныхъ рудникахъ Идріи. Fh. Scheimpflug и Max Holler [2]), на основаніи своихъ наблюденій, показали, что на нѣкоторой глубинѣ находится ограниченный очагъ высокой

[1]) Ячевскій. О термическомъ режимѣ поверхности земли. Спб. 1905, стр. 22.

[2]) Scheimpflug Fh. und Holler Max. Temperaturmessungen im Quecksilberbergwerk. von Idria. Sitzungsberichte der K. Akademie der Wissenschaften. Wien. 1899. CXIII. Bd. Abth. II. S. 950.

Digitized by Google

температуры, отъ котораго, по всѣмъ направленіямъ, температура горныхъ породъ понижается. Въ центрѣ очага она достигаетъ 27°, а на периферіи падаетъ до 12°. На вертикальныхъ разрѣзахъ мы видимъ слой съ температурою въ 18°, залегающій глубже, чѣмъ слой съ температурою въ 26°. Большая ось обслѣдованнаго ими рудничнаго пространства достигаетъ 700 метровъ, а горизонтальная ось очага высокой температуры не многимъ болѣе 50 метровъ. Приводимыя авторами наблюденія надъ температурою горныхъ породъ на разныхъ горизонтахъ, за время съ 1890 по 1897 годъ, хотя не достаточно точныя, указываютъ, однако, на неизмѣнность во времени общихъ термическихъ отношеній въ рудникѣ [1]). Еще лучшій примѣръ неустойчивости величинъ градіента на незначительномъ даже участкѣ земной поверхности представляютъ данныя Darton'a [2]). Въ южной и сѣверной Dakot'ѣ, на поверхности приблизительно въ 100 тыс. кв. километровъ, величины градіента колеблются въ предѣлахъ отъ 9.5 метр. до 24.6 метра, причемъ точки, въ которыхъ эти величины достигаютъ крайнихъ своихъ предѣловъ, находятся другъ отъ друга въ разстояніи не болѣе 50 километровъ [3]).

Всѣ указанныя уклоненія имѣютъ мѣстный характеръ и могутъ быть объяснены различіемъ физическихъ свойствъ земныхъ пластовъ, а также продолжающимися въ извѣстныхъ слояхъ химическими процессами. Но если мы отвлечемся отъ этихъ мѣстныхъ аномалій, то общій законъ останется въ полной силѣ: температура съ глубиною повышается, и это явленіе имѣетъ мѣсто во всѣхъ изслѣдованныхъ широтахъ и долготахъ, даже въ вѣчной мерзлотѣ Якутска. Въ первомъ приближеніи, можно принять, что геотермическая ступень равна 30—35 метрамъ, что соотвѣтствуетъ 3°.3 — 2°.8 на каждые 100 метровъ. Наиболѣе высокая температура, измѣренная непосредственно, равна 70° (на глубинѣ 2003 метровъ). Приведемъ еще три ряда дѣйствительно измѣренныхъ температуръ въ Sperenberg'ѣ, Pribram'ѣ и Paraschuwitz'ѣ:

---

[1]) Ibid.

[2]) Darton N. H. Geotermal Data from Deep Artesian Wells in the Dakotas. The American journ. of. Science. 1898, p. 161.

[3]) Ячевскій. О термическомъ режимѣ поверхности земли, въ связи съ происходящими на ней геологическими процессами, стр. 22—23.

Digitized by Google

Spercuberg	
глубина въ метрахъ	температура
220	21°.58
283	23.47
345	26.43
408	26.88
471	29.08
534	30.92
597	33.12
660	35.83
1064	46.55
1268	48.10

Schladebach	
глубина въ метрахъ	температура
1266	45°.25
1296	46.13
1416	50.25
1506	52.88
1536	53.13
1596	54.50
1626	55.00
1656	55.50
1686	56.50
1716	56.63

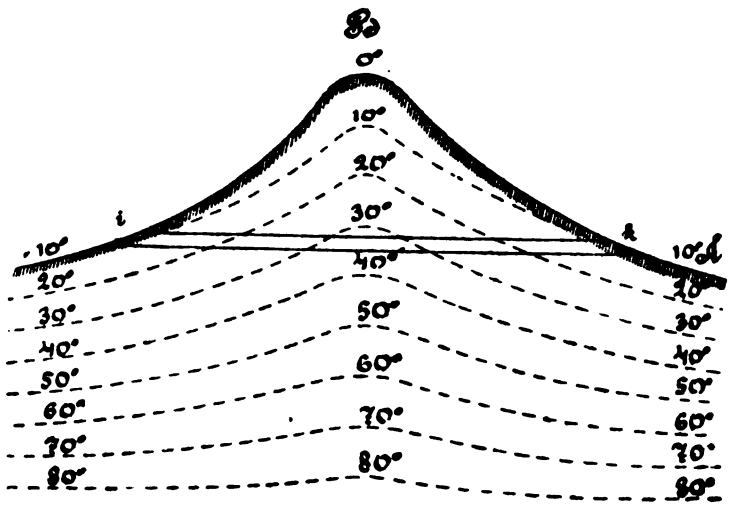
Pribram	
глубина въ метрахъ	температура
74.5	9°.4
145.0	11.5
190.7	12.0
286.8	13.8
359.8	14.2
432.7	15.1
505.6	16.5
581.5	17.8
661.8	19.2
737.3	20.4
832.2	21.1
889.3	21.8

Paraschuwitz	
глубина въ метрахъ	температура
6	12°.1
285	18.9
595	28.8
905	35.8
1215	46.4
1525	53.8
1835	65.0
1959	69.3

Мы уже раньше видѣли, что многіе ученые пытались выразить эмпирической формулой средній законъ повышенія температуры съ глубиною. Нѣкоторыя изъ этихъ формулъ мы привели выше (стр. 285) и указали предѣлы ихъ годности. Строго говоря, каждая изъ нихъ выражаетъ только тотъ рядъ наблюденій, изъ котораго вычислены ея коэффиціенты.

Digitized by Google

Наблюденія въ туннеляхъ. Если мы въ массѣ земли мысленно проведемъ поверхность черезъ всѣ точки, имѣющія одну и ту же температуру, то получимъ, такъ называемую, *изотермическую поверхность.* Такія поверхности можно провести черезъ точки, имѣющія температуру 20°, 30°, 40° и т. д. Въ виду крайне неравномѣрнаго распредѣленія тепла въ земной корѣ, поверхности эти не параллельны между собою и, вообще, не имѣютъ правильнаго хода. Но, въ болѣе верхнихъ слояхъ земной коры, поверхности эти слѣдуютъ въ общемъ за ходомъ дневного рельефа земной поверхности, т. е., поднимаются вдоль склоновъ горъ и опускаются въ долинахъ и низменностяхъ. Ходъ ихъ, приблизительно, можно видѣть на фигурѣ 97, на которой представлены



Фиг. 97.

изотермическія поверхности, соотвѣтствующія температурамъ 10°, 20°, 30°,.... Положимъ, что гора прорѣзана линіей туннеля *ik*. Если мы будемъ слѣдовать вдоль этой линіи, то постепенно встрѣтимъ температуры 10°, 20°, 30°. Въ средней части туннеля температура достигнетъ максимума, а затѣмъ начнетъ уменьшаться къ другому концу его. Измѣряя температуру горныхъ породъ въ какой нибудь точкѣ туннеля и вычисляя разстояніе этой точки отъ поверхности земли, считая по нормали, мы получимъ геотермическую ступень. Вотъ, напримѣръ, наблюденія, произведенныя въ туннелѣ Монъ-Сени:

Digitized by Google

	разстояніе отъ южнаго входа	глубина туннеля	температура воздуха	температура породъ
1	500 метровъ	— метровъ	10°.5	14°.2
2	1000 »	520 »	15.3	17.0
3	2000 »	—	17.8	19.5
4	3000 »	—	20.3	22.8
5	4000 »	—	23.0	23.6
6	5000 »	910 »	24.5	27.5
7	6000 »	1370 »	26.8	28.8
8	6450 »	1609 »	30.1	29.5
9	6662 »	—	—	28.0
10	7000 »	1447 »	25.0	27.0

Въ С. Готардскомъ туннелѣ наиболѣе высокая температура равнялась 30°.8 на глубинѣ 1752 метра отъ поверхности горы; геотермическая ступень составляетъ 44 метра. На этомъ основаніи, можно было ожидать, что, въ недавно прорытомъ, Симплонскомъ туннелѣ, температура должна достигнуть 43°. Въ дѣйствительности же она оказалась равной 53°, на глубинѣ 2135 метровъ отъ поверхности горы.

Вѣроятность высокихъ температуръ въ нѣдрахъ земли. Мы сказали, что въ земной корѣ непосредственно измѣрена температура равная 70°. Но горячіе источники указываютъ на существованіе въ земной корѣ температуръ близкихъ къ температурѣ кипѣнія воды. Въ Исландскихъ гейзерахъ Бунзенъ нашелъ, на глубинѣ 10 метровъ, температуру 110°. Вулканическая дѣятельность земли служитъ признакомъ того, что въ нѣдрахъ земли возможны температуры, достаточныя для плавленія нѣкоторыхъ горныхъ породъ. Всѣ эти факты, вмѣстѣ взятые, дѣлаютъ вѣроятнымъ допущеніе, что на большихъ глубинахъ должны господствовать весьма высокія температуры; иначе говоря, планета наша обладаетъ извѣстнымъ, весьма значительнымъ, запасомъ тепловой энергіи. Конечно, мы не имѣемъ возможности опредѣлить температуры эти даже приблизительно, такъ какъ, до настоящаго времени, термометрически изслѣдована непосредственно лишь тонкая пленка земли $\left(\frac{1}{3400}\text{ часть земного радіуса}\right)$, а экстраполяція существующихъ формулъ даетъ противорѣчивые результаты. Во всякомъ случаѣ мы вправѣ допустить,

Digitized by Google

что эти высокія температуры не расположены въ землѣ въ видѣ отдѣльныхъ тепловыхъ фокусовъ или очаговъ. Вѣроятнѣе, что вся вообще внутренняя полость земли обладаетъ повышенной тепловой энергіей. И дѣйствительно, всѣ наблюденія, произведенныя до сихъ поръ, показали, что температура съ глубиной повсемѣстно повышается. Хотя геотермическая ступень колеблется въ нѣкоторыхъ предѣлахъ, но она, тѣмъ не менѣе, вездѣ измѣряется числами приблизительно одного и того же порядка (десятками метровъ); явленіе имѣло бы иной характеръ, если бы высокія температуры расположены были въ видѣ отдѣльныхъ очаговъ. Съ другой стороны, карта географическаго распредѣленія вулкановъ свидѣтельствуетъ, что вулканическая дѣятельность пробуждается во всѣхъ широтахъ и долготахъ, даже среди полярныхъ снѣговъ (вулканы и гейзеры Исландіи, вулканы Эребусъ и Терроръ въ антарктическомъ поясѣ).

Гипотезы относительно физическаго строенія земного ядра. Но если внутри земли вѣроятны весьма высокія температуры, то, въ связи съ этимъ, является новый вопросъ: въ какомъ физическомъ состояніи находится земное ядро? Вопросъ этотъ, какъ чисто геологическій или, вѣрнѣе, космогоническій, стоитъ за предѣлами нашей задачи. Но, тѣмъ не менѣе, для полноты и цѣльности изложенія, возможно кратко, перечислимъ попытки, сдѣланныя для рѣшенія этой трудной задачи. Вопросъ этотъ интересенъ еще и въ томъ отношеніи, что, при изложеніи его, можно видѣть, какъ нерѣдко наука пытается подойти къ рѣшенію извѣстной проблемы разнообразными, совершенно независимыми другъ отъ друга, путями.

Весьма долго господствовало въ наукѣ, такъ называемое, ученіе флюидистовъ или защитниковъ жидкаго состоянія земного ядра. Школа эта основывала свое мнѣніе на общеизвѣстномъ фактѣ увеличенія температуры съ глубиной, экстраполируя эти факты за предѣлы ихъ годности. Вулканическая дѣятельность, при которой на дневную поверхность изливаются расплавленныя горныя породы, говоритъ, повидимому, также въ пользу этого взгляда. По мнѣнію флюидистовъ, процессъ отвердѣванія земли долженъ былъ начаться съ поверхности и постепенно подвигаться къ центру. Воды океановъ и морей проникаютъ вглубь, достигаютъ слоевъ, имѣющихъ высокую температуру, быстро обращаются въ пары и производятъ тѣ катаклизмы, которыя

Digitized by Google

извѣстны подъ именемъ вулканической дѣятельности. Противъ этого взгляда выдвинуто было другое воззрѣніе—воззрѣніе *ригидистовъ*. По этому воззрѣнію, процессъ остыванія шелъ въ другомъ порядкѣ. Земной шаръ остывалъ съ поверхности. Остывшія массы, дѣлаясь плотнѣе, падали къ центру земли. Встрѣчая на пути высокія температуры, массы эти вновь плавились, отымая, для своего плавленія, нѣкоторое количество тепла; вслѣдствіе этого, температура всей массы земли въ общемъ понижалась. При продолжающемся подобномъ процессѣ, могъ наступить такой моментъ, когда падавшія сверху массы достигали, не успѣвъ расплавиться, центральной части земли. Съ точки зрѣнія этихъ размышленій, отвердѣваніе началось съ центра и только впослѣдствіи образовалась кора, которая постепенно утолщалась; такимъ образомъ, можно предполагать, что, въ настоящее время, или вся земля успѣла уже насквозь отвердѣть или отвердѣвшая центральная часть земли отдѣлена отъ наружной твердой коры слоемъ полуостывшей массы; этотъ слой играетъ существенную роль въ явленіяхъ вулканизма. Споръ между флюидистами и ригидистами подвергался провѣркѣ различными косвенными путями.

Извѣстно, что ось земли не сохраняетъ своего неизмѣннаго положенія въ пространствѣ. Она, въ теченіе 26000 лѣтъ, описываетъ въ пространствѣ коническую поверхность; явленіе это называется прецессіей и объясняется въ небесной механикѣ совмѣстнымъ дѣйствіемъ солнца и луны на экваторіальное вздутіе земли. Величина этого дѣйствія зависитъ отъ физическаго состоянія земли, т. е. отъ большей или меньшей толщины ея отвердѣвшей оболочки. Hopkins[1]) показалъ, что явленія прецессіи и нутаціи будутъ различны, смотря по тому, представляетъ ли земля вполнѣ твердое, или вполнѣ жидкое тѣло, или, наконецъ, жидкое тѣло, окруженное твердой корой. Для того, чтобы привести въ согласіе результаты наблюденій и вычисленій, необходимо допустить, что толщина отвердѣвшей нынѣ коры должна составлять около $\frac{1}{3}$ всего земного радіуса (1300—1600 килом.).

Къ косвенному рѣшенію этого вопроса можно подойти и другимъ, чисто физико-географическимъ, путемъ. Намъ извѣстно явленіе прилива и отлива. Явленіе это есть результатъ дефор-

[1]) Researches in physikal geology. Philos. Transact. of the Royal Soc. of London, 1839, II; 1840, I; 1842, I.

Digitized by Google

маціи, которой подвергается водная оболочка земли вслѣдствіе совмѣстнаго притягательнаго дѣйствія луны и солнца. Вслѣдствіе притягательнаго дѣйствія солнца и луны водяная оболочка земли деформируется и стремится принять новую форму равновѣсія, а именно, форму эллипсоида, большая ось котораго направлена вообще къ лунѣ. Но нетрудно показать, что подобную деформацію испытываетъ не только жидкая, но и твердая часть земной коры. Вслѣдствіе этой деформаціи, въ районѣ прилива, подымается не только уровень водъ, но и самое дно океана, что влечетъ за собой уменьшеніе *видимой* высоты прилива. Это уменьшеніе видимой высоты прилива будетъ тѣмъ значительнѣе, чѣмъ легче уступаетъ деформаціи твердая оболочка, т. е. дно океана. Но большая или меньшая податливость земной коры дѣйствію деформаціи зависитъ, при одинаковыхъ прочихъ условіяхъ, отъ толщины этой коры. При болѣе толстой корѣ деформація твердой коры слабѣе, подъемъ дна океана меньше, а слѣдовательно, *видимая* высота прилива больше. Остается, очевидно, хорошо изучить, въ открытыхъ океанахъ, ходъ и высоту приливовъ и отливовъ и сравнить измѣренную высоту съ результатами вычисленій, сдѣланныхъ при различныхъ допущеніяхъ относительно толщины земной коры. Къ сожалѣнію, чрезвычайно трудно дать прочную основу этому методу, вслѣдствіе того, что дѣйствительный ходъ приливовъ и отливовъ осложняется массой второстепенныхъ факторовъ, измѣняющихъ теоретическій ихъ ходъ, можно сказать, до неузнаваемости. Томсонъ, изучая аналитически вѣковое охлажденіе земли, приходитъ къ тому заключенію, что наша планета, въ настоящее время, сплошь твердая и по твердости больше твердости стекла и приближается къ твердости стали. Но какимъ образомъ согласовать весьма высокія температуры въ центральныхъ частяхъ земли съ твердымъ ея состояніемъ? Еще очень недавно указывали на тотъ фактъ, что, для большей части тѣлъ, входящихъ въ составъ земной коры, точка плавленія повышается при повышеніи давленія; такъ напримѣръ, изъ опытовъ Hopkins'a:

давленіе	спермацетъ	воскъ	сѣра
1 атмосфер.	51°	64°.5	107°.0
519 »	60	74.5	135.2
792 »	80.2	80.2	140.5

Digitized by Google

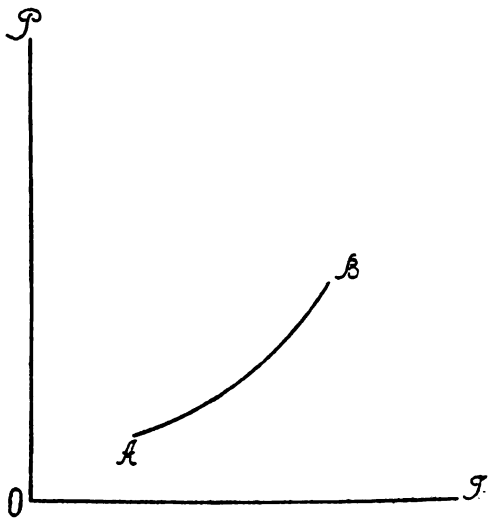
По мѣрѣ перехода отъ поверхности земли къ центру, давленіе увеличивается, такъ какъ каждый слой земли долженъ выдерживать давленіе всѣхъ выше лежащихъ. Мы видѣли раньше (стр. 80), что на глубинѣ 0.1 радіуса вѣроятное давленіе около 425000 атмосферъ, а въ центрѣ земли оно измѣряется уже милліонами атмосферъ. Возможно допустить, что, при этихъ высокихъ давленіяхъ, всѣ тѣла, несмотря на весьма высокую температуру, сохраняютъ свое твердое состояніе. Такимъ образомъ, можно привести въ согласіе весьма высокія температуры и твердое состояніе нѣдръ земли. Но допустимъ, что, въ какой-нибудь части этой массы, происходитъ пониженіе давленія, вслѣдствіе ли смѣщенія части земной коры, или вслѣдствіе взрыва массъ воды, проникшей вглубь; давленіе понижается, массы, освободившіяся отъ давленія, быстро переходятъ въ жидкое состояніе, причемъ переходъ сопровождается выдѣленіемъ огромнаго количества поглощенныхъ газовъ, какъ это бываетъ въ лабораторіяхъ при быстромъ охлажденіи металлическихъ массъ (опыты Чермака [1]); поверхность земли потрясается или вулканическими изверженіями, или сейсмической дѣятельностью. Такія потрясенія наиболѣе вѣроятны тамъ, гдѣ земная кора наиболѣе разорвана, изломана, наименѣе устойчива, т. е. въ мѣстахъ наибольшихъ дислокацій, особенно вблизи береговъ, круто поднимающихся изъ океаническихъ безднъ. Такую линію наименѣе устойчивой части земной коры можно видѣть въ томъ вулканическомъ кольцѣ, которое окружаетъ Тихій океанъ, а также въ поясѣ разлома (стран. 87). Всѣ эти выводы построены на томъ законѣ, что температура плавленія возрастаетъ съ повышеніемъ давленія.

Опыты Таманна. Всѣ изложенные выше выводы и соображенія построены на томъ допущеніи, что законы явленій, открытые въ нашихъ лабораторіяхъ при болѣе или менѣе обыкновенныхъ условіяхъ, сохраняютъ свою годность и при тѣхъ громадныхъ давленіяхъ и температурахъ, которыя господствуютъ въ нѣдрахъ земли. Короче говоря, мы *экстраполируемъ* наши экспериментальныя данныя за предѣлы ихъ годности. Мы уже раньше

[1]) Vulkanismus als kosmische Erscheinung. Sitzb. der Wien. Ak. der Wissenschaften. 1876.

Digitized by Google

показали, съ какой осторожностью слѣдуетъ относиться къ результатамъ экстраполяціи эмпирическихъ формулъ. Воспользуемся настоящимъ случаемъ, чтобы показать, что такая же осторожность необходима при экстраполяціи даже качественной стороны экспериментальныхъ изысканій. Мы сказали, что всякое кристаллическое тѣло постояннаго состава, имѣетъ, при давленіи одной атмосферы, опредѣленную температуру плавленія. Съ повышеніемъ давленія, температура плавленія повышается для тѣлъ, которыя, при плавленіи, увеличиваются въ своемъ объемѣ. Ледъ, какъ извѣстно, обладаетъ обратнымъ свойствомъ Если мы на оси OT (фиг. 98) отложимъ равныя части, выражающія температуры, а на оси OP— части, соотвѣтствующія давленіямъ, то зависимость между давленіемъ и соотвѣтствующей температурой плавленія выразится нѣкоторой кривой линіей AB (кривая плавленія) Tamann [1]) изслѣдовалъ ходъ этой кривой линіи для давленій до 10000 атмосферъ и для температуръ отъ —80° до +200°. Оказалось (фиг. 99), что, при повышеніи давленія и увеличеніи соотвѣтствующей температуры плавленія, увеличеніе объема становится меньше и меньше, достигаетъ нуля и затѣмъ переходитъ въ *отрицательное*; другими словами, объемъ твердой фазы дѣлается больше, а плотность меньше, чѣмъ жидкой. Очевидно, слѣдовательно, что кривая плавленія AM_1M_2 обращена къ оси OP своей вогнутой стороной (фиг. 99). Замѣчательная точка M_1, въ которой твердая и жидкая фазы имѣютъ

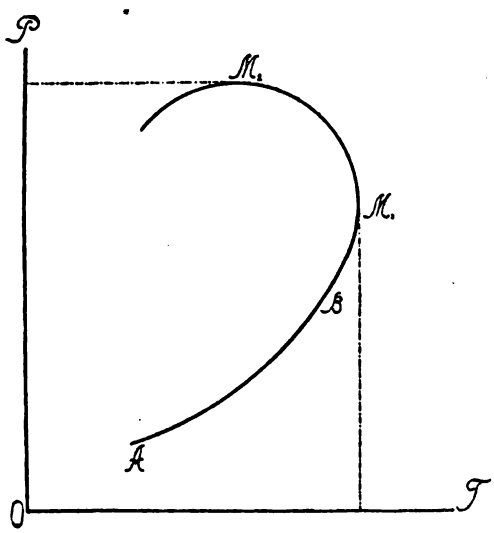


Фиг. 98.

[1]) Kristallisiren und Schmelzen. Leipzig. 1903.

Digitized by Google

одинаковыя плотности, лежитъ для глауберовой соли при температурѣ 31° и давленіи 2500 атмосферъ. Такимъ образомъ, вода не представляетъ какой-либо аномаліи; она, при давленіяхъ, господствующихъ на земной поверхности, находится только въ верхней части M_1M_2 кривой плавленія. Но кривая Таманна имѣетъ еще и другую замѣчательную точку M_2. Отъ этой точки, съ пониженіемъ давленія, температура плавленія понижается. Точка M_2 соотвѣтствуетъ максимуму давленія, а точка M_1 — максимуму температуры. Точка M_2 характеризуется тѣмъ, что въ ней скрытое тепло плавленія равно нулю; въ этой точкѣ, это тепло мѣняетъ знакъ и, при болѣе низкихъ температурахъ и давленіяхъ, дѣлается отрицательнымъ, т. е. при плавленіи тепло выдѣляется. Tamann дѣлаетъ попытку примѣнить эти изслѣдованія къ рѣшенію вопроса о физическомъ строеніи земного ядра. Онъ приходитъ къ тому заключенію, что въ нѣдрахъ земли должно существовать нѣсколько перемежающихся поясовъ твердой и жидкой массы, находящихся въ неустойчивомъ состояніи, что и вызываетъ вулканическую дѣятельность.



Фиг. 99.

Новѣйшія воззрѣнія. При разсмотрѣніи вопроса о физическомъ состояніи земного ядра, нужно имѣть въ виду тотъ фактъ, что, при достаточно высокомъ давленіи, твердое состояніе тѣлъ становится тоже неустойчивымъ. Вещество, выполняющее центральную часть земли, должно находиться въ очень сжатомъ состояніи; молекулярныя силы его должны быть сильно увеличены и тягучесть повышена. Жидкости земного ядра скорѣе приближаются, по свойствамъ своимъ, къ смолѣ или сургучу чѣмъ къ жидкостямъ въ собственномъ смыслѣ этого слова.

Digitized by Google

Извѣстно, что даже металлы подъ высокимъ давленіемъ получаютъ способность къ жидкостнымъ движеніямъ безъ разрыва сплошности и дѣлаются *пластическими*, какъ это видно изъ опытовъ Tresca и Spring'a. Иначе говоря, грань, раздѣляющая твердое и жидкое состояніе, постоянно сглаживается. Съ другой стороны, температуры, господствующія въ центрѣ земли, по всей вѣроятности, превышаютъ критическія температуры всѣхъ тѣлъ, входящихъ въ составъ земли, а при подобныхъ условіяхъ теряется различіе между жидкимъ и газообразнымъ состояніемъ. При этихъ температурахъ, большая часть тѣлъ должна находиться въ газообразномъ состояніи. При очень высокихъ давленіяхъ и температурахъ могутъ образоваться соединенія, которыя неспособны къ существованію при обыкновенномъ давленіи и обыкновенной температурѣ. Если эти соединенія освобождаются отъ части давленія, то этотъ переходъ можетъ вызвать взрывы, сопровождающіеся выдѣленіемъ огромнаго количества тепла.

Такимъ образомъ, если распространить свѣдѣнія, добытыя въ нашихъ лабораторіяхъ, на глубокіе слои земли, гдѣ господствуютъ огромныя температуры и давленія, измѣряемыя десятками тысячъ градусовъ и милліонами атмосферъ, то о нѣдрахъ земли можно себѣ составить слѣдующее представленіе. Твердая кора имѣетъ незначительную толщину. На глубинѣ около 60 километровъ, она переходитъ въ огненную пластическую массу (магма). Еще глубже, примѣрно на глубинѣ 300 километровъ, всѣ тѣла принимаютъ газообразное состояніе. Далѣе, слѣдуетъ закритическій газъ и, наконецъ, въ центральной части, находится однородный газъ, въ которомъ не существуетъ уже болѣе индивидуальныхъ химическихъ особенностей отдѣльныхъ тѣлъ. Переходъ отъ одного состоянія въ другое совершается постепенно и непрерывно, по мѣрѣ увеличенія давленія и температуры и при увеличивающейся плотности. Къ внѣшнимъ силамъ подобная система относится такъ, какъ твердое тѣло, и, съ этой точки зрѣнія, она находится въ полной гармоніи съ замѣчательными, выше приведенными, изслѣдованіями Hopkins'a и Томсона. Если бы эти гипотетическія предвидѣнія были справедливы, то мы вправѣ были бы сказать, что физическая природа стремится сохранить въ своемъ строеніи слѣды прежней жизни, точно такъ же, какъ мы это видимъ въ болѣе высокихъ формахъ жизни

Digitized by Google

органической. Мы могли бы установить своего рода геогенетическій законъ, параллельный, въ нѣкоторомъ смыслѣ, закону біогенетическому.

Многія соображенія заставляютъ насъ предполагать, что самая верхняя часть земной коры находится, въ настоящее время, въ стаціонарномъ состояніи, и тепло, получаемое снизу, цѣликомъ теряется въ междупланетное пространство. Сдѣлана попытка опредѣлить то количество тепла, которое, при посредствѣ нашей твердой оболочки, ежегодно разсѣивается въ міровое пространство. Конечно, это можно сдѣлать лишь при нѣкоторыхъ, чисто произвольныхъ, допущеніяхъ. Hann допускаетъ, что температура съ глубиною повышается на $2^{0}.86$ на каждые 100 метровъ и что термометрическій коэффиціентъ теплопроводности горныхъ породъ равенъ 0.006. Тогда каждый квадратный сантиметръ земной поверхности получаетъ въ секунду:

$$0.000286 \times 0.006 = 0.000001716,$$

а въ годъ 54.2 мал. калоріи. Это тепло можетъ расплавить ледяную оболочку въ 7.4 мм. толщины. Очевидно, что подобный притокъ внутренняго тепла не можетъ играть никакой роли въ метеорологическихъ процессахъ. По вычисленію Trabert'a, это тепло можетъ повысить температуру земли лишь на $0^{0}.1$. Но такъ какъ процессъ отдачи тепла, черезъ посредство земной коры, продолжается цѣлыя геологическія эпохи, то, мало по малу, земное ядро должно постепенно охлаждаться и сокращаться въ объемѣ. Земная же кора, сохраняя свое стаціонарное тепловое состояніе, принуждена постоянно укладываться на постепенно уменьшающейся поверхности земного ядра; вслѣдствіе этого, образуются на этой корѣ складки, разрывы, трещины, а также создаются условія, необходимыя для взрыва подземныхъ геодинамическихъ силъ (вулканическія изверженія) и колебаній коры, какъ макро- такъ и микро-сейсмическихъ. Такимъ образомъ, какъ продолжающійся процессъ горообразованія, такъ и вся вулканическая и сейсмическая дѣятельность земли являются результатомъ непрерывнаго разсѣиванія тепловой энергіи земли въ міровое пространство.

Въ заключеніе замѣтимъ, что въ самое послѣднее время промелькнула мысль о возможной связи между радіоактивностью

Digitized by Google

тѣлъ, входящихъ въ составъ земли, и тепловымъ состояніемъ земного ядра [1]).

Литературныя указанія. Весьма полныя литературныя указанія по этому вопросу можно найти въ статьѣ Franz'a Toula «Verschiedene Ansichten über das Innere der Erde». Wien. 1899, а также у Günther'a «Lehrbuch der Geophysik». 2-te Auflage. Общедоступный обзоръ результатовъ смотр.:

a) статья Шенберга «Современныя воззрѣнія на состояніе земного ядра». Извѣстія Русскаго астрономическаго общества, 1906, ноябрь;

b) статья Люткевича «Краткій обзоръ современныхъ свѣдѣній о внутренности земного шара». Труды метеорологической сѣти юго-запада Россіи въ 1900 году, второе десятилѣтіе, вып. V.

IX.

Тепловыя условія океановъ.

Нагрѣванія и охлажденія водяной оболочки земли. Методы опредѣленія температуры поверхностныхъ водъ. Методы опредѣленія температуры глубинныхъ водъ. Суточныя и годовыя колебанія. Географическое распредѣленіе температуры на поверхности океановъ. Распредѣленіе температуры по вертикальному направленію въ океанахъ. Распредѣленіе температуры по вертикальному направленію во внутреннихъ моряхъ. Особенность въ распредѣленіи температуры нѣкоторыхъ соленыхъ озеръ. Сравненіе нагрѣванія суши и океана. Образованіе льда. Черное море и краткое обозрѣніе физическихъ его особенностей. Литературныя указанія.

Нагрѣванія и охлажденія водяной оболочки земли. Поверхность океаническихъ водъ, подобно поверхности суши, получаетъ свою тепловую энергію отъ солнца. Но законы распредѣленія этой энергіи въ твердой и жидкой оболочкѣ далеко неодинаковы. Во-первыхъ, теплоемкость суши меньше, чѣмъ тепло-

[1]) Подробнѣе смотри: Elster und Geitel. Ueber die Radioaktivität der Erdsubstanz und ihre mögliche Beziehung zur Erdwärme. Wolfenbüttel. 1907.

Digitized by Google

емкость воды, вслѣдствіе чего, вода нагрѣвается и охлаждается гораздо медленнѣе, чѣмъ суша и способна аккумулировать большій запасъ тепла; во-вторыхъ, лучеиспускательная способность суши гораздо больше, чѣмъ водной поверхности; въ третьихъ, въ твердой корѣ земли тепло проникаетъ вглубь исключительно путемъ теплопроводности, между тѣмъ, въ водной оболочкѣ оно передается и другими путями. Радіація солнца, прежде всего, проникаетъ на извѣстную глубину и непосредственно нагрѣваетъ слой извѣстной толщины. Относительно прониканія лучей различной преломляемости имѣются наблюденія Hüfner'a и Albrecht'a. Если напряженность лучей каждой преломляемости на поверхности примемъ за 100, то, на глубинѣ 10 метровъ, составъ радіаціи будетъ слѣдующій:

лучи красные	между B и C . . .	2%
» оранжевые и желтые	» C » D . . .	7
» желто-зеленые	» D » E . . .	39
» зеленые	» E » F . . .	65
» голубые	» F » G . . .	69—76

Красные лучи, какъ видно, поглощаются быстро въ тонкомъ слоѣ.

Далѣе, въ массахъ океаническихъ водъ существуютъ конвекціонные токи, способствующіе обмѣну водъ верхнихъ и болѣе низкихъ слоевъ. Токи эти вызываются какъ термическими условіями, такъ и разностью соленостей; въ соленыхъ водахъ, верхніе слои, вслѣдствіе сильнаго испаренія, дѣлаются болѣе плотными, падаютъ внизъ и передаютъ свое тепло болѣе глубокимъ слоямъ.

Наконецъ, волненія океаническихъ водъ, вызываемыя вѣтрами, также способствуютъ обмѣну тепла между поверхностными и ниже лежащими слоями.

Все это, вмѣстѣ взятое, даетъ намъ основаніе предполагать, что всякія измѣненія въ тепловомъ состояніи непрерывной водной оболочки земли должны происходить медленнѣе и въ менѣе широкихъ предѣлахъ (особенно посреди открытаго океана), чѣмъ въ верхнихъ слояхъ суши; но, съ другой стороны, всѣ эти измѣненія должны проникать глубже въ толщу воды.

Методы опредѣленія температуры поверхностныхъ водъ. Для измѣренія поверхностныхъ температуръ зачерпываютъ воду съ поверхности моря большимъ ведромъ и, поднявъ его на бортъ

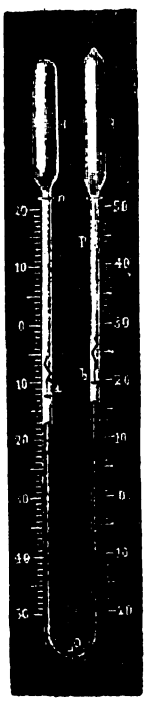
Digitized by Google

корабля, непосредственно измѣряютъ температуру воды помощью чувствительнаго термометра. Значительная теплоемкость воды препятствуетъ быстрому измѣненію ея температуры во время производства опыта. Янсенъ предложилъ небольшое приспособленіе, дающее возможность находить поверхностную температуру моря, не прибѣгая къ необходимости вытаскивать воду на палубу. Приборъ Янсена состоитъ изъ термометра, заключеннаго въ деревянную оправу, который на веревкѣ опускается черезъ бортъ корабля въ море. Въ нижней части прибора находится свинцовое кольцо, къ которому прикрѣплена кисть пеньковыхъ волоконъ. Такимъ образомъ, когда термометръ опускается въ воду, пеньковыя волокна расходятся и освобождаютъ шарикъ; когда же его вынимаютъ изъ воды, волокна плотно облегаютъ и обхватываютъ шарикъ и поддерживаютъ его температуру въ теченіе небольшого промежутка, который вполнѣ достаточенъ для производства нужнаго измѣренія. Опыты показали, что термометръ сохраняетъ свою температуру въ теченіе 2 минутъ; такъ, въ одномъ опытѣ, термометръ показывалъ 19°.0; когда же онъ былъ вынутъ изъ воды и выставленъ на солнце, то по истеченіи 2 мин. отъ начала опыта температура его была та же самая (19°) и только черезъ 2.5 мин. шарикъ принялъ температуру 19°.1.

Методы опредѣленія температуры глубинныхъ водъ. Гораздо труднѣе опредѣленіе температуры на различныхъ глубинахъ. Первоначальный методъ состоялъ въ томъ, что зачерпывали воду изъ глубины моря въ достаточномъ количествѣ, быстро подымали на поверхность и измѣряли температуру ея посредствомъ чувствительнаго термометра. Этотъ пріемъ вошелъ въ употребленіе еще въ срединѣ 18-го столѣтія, и тогда же былъ построенъ для этой цѣли приборъ Галлеса (1751—1752), которымъ пользовались Кукъ и Форстеръ; приборъ этотъ былъ впослѣдствіи усовершенствованъ Парротомъ для экспедиціи Ленца. Въ окончательномъ своемъ видѣ онъ состоялъ изъ покрытаго цинкомъ жестянаго цилиндра; толщина стѣнокъ 0.56 мм., высота—453 мм., діаметръ — 298 мм. Отверстія въ мѣдныхъ рамахъ, прикрывающихъ собою цилиндръ сверху и снизу, закрываются двумя клапанами, имѣющими видъ коническихъ чашекъ и прикрѣпленными къ одному и тому же стержню, на которомъ и утвержденъ термометръ. Клапаны открываются и

Digitized by Google

закрываются сами собою, вслѣдствіе сопротивленія воды при опусканіи и подыманіи прибора. Для облегченія ихъ правильнаго дѣйствія, къ стержню прикрѣплены на шарнирахъ особые рычаги съ противовѣсами. При такомъ устройствѣ прибора понятно, что онъ можетъ захватить съ собою воду исключительно изъ одной какой-нибудь глубины моря; во время погруженія клапаны приподымаются вверхъ, позволяя водѣ свободно протекать сквозь цилиндръ; во время же поднятія они опускаются и не допускаютъ притока воды изъ другихъ глубинъ, черезъ которыя проходитъ приборъ. Чтобы предохранить зачерпнутую этимъ приборомъ воду отъ нагрѣвательнаго дѣйствія верхнихъ слоевъ, устроители воспользовались закономъ Паррота, по которому теплопроводность уменьшается при прохожденіи тепла черезъ слои разнородныхъ тѣлъ. Для этой цѣли цилиндръ покрываютъ поочередно тонкими листами жести и пластами сукна, пропитаннаго воскомъ и саломъ; снаружи приборъ обтянутъ холстомъ, покрытымъ масляною краской. Такимъ образомъ, оболочка состоитъ изъ 17 слоевъ; вѣсъ всего прибора въ воздухѣ равнялся 30.3, а въ соленой водѣ—16.4 килогр.



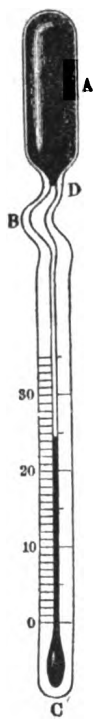
Фиг. 100.

Второй способъ состоитъ въ томъ, что опускаютъ на глубину, вмѣстѣ съ лотомъ, термометръ, окруженный дурными проводниками; спустя нѣкоторое время приборъ вытаскиваютъ на палубу и записываютъ показаніе термометра. Окружающіе термометръ непроводники препятствуютъ измѣненію его температуры во время подыманія. Этимъ пріемомъ впервые воспользовался Соссюръ (Saussure, 1780) при измѣреніяхъ температуръ Средиземнаго моря.

Наконецъ, третій и наиболѣе надежный методъ заключается въ томъ, что, вмѣстѣ съ лотомъ, опускаютъ maximum и minimum термометръ или приборъ Negretti и Zambra. Первый пріемъ былъ примѣненъ еще Крузенштерномъ и Горнеромъ. Самый приборъ основанъ на принципѣ термометра Сикса (фиг. 100); стеклянная колѣнчатая трубка оканчивается расширенными частями, а

Digitized by Google

нижняя часть трубки наполнена ртутью; колѣно *a* содержитъ спиртъ; спиртъ занимаетъ также часть праваго колѣна *b*; остальную часть трубки *b* наполняютъ пары спирта. У *a* и *b* помѣщаются эмалевые поплавки, снабженные слабыми стальными пружинами, которыя (какъ это изображено на приведенномъ чертежѣ) не позволяютъ поплавкамъ скользить вдоль стѣнокъ. Если поплавки приведены въ соприкосновеніе съ уровнемъ ртути въ *a* и *b* (помощью магнита), то при повышеніи температуры спиртъ въ колѣнѣ *a* расширяется и давитъ на ртуть; ртуть въ колѣнѣ *b* подымается и толкаетъ передъ собою поплавокъ до тѣхъ поръ, пока происходитъ повышеніе температуры. Когда температура, достигнувъ наивысшей точки, начинаетъ понижаться, то спиртъ въ лѣвомъ колѣнѣ сокращается; упругость паровъ, заключенныхъ въ колѣнѣ *b*, подымаетъ уровень ртути у *a* и поплавокъ *a* подымается. Такимъ образомъ, положеніе поплавка въ лѣвомъ колѣнѣ опредѣлитъ минимумъ, а въ правомъ — максимумъ температуры извѣстной среды. Слѣдуетъ, однако, замѣтить, что съ глубиной возрастаетъ и давленіе; давленіе, дѣйствуя на стѣнки трубки, сжимаетъ ее и служитъ причиной погрѣшностей. Для избѣжанія этого всю трубку помѣщаютъ обыкновенно въ другую, стеклянную, которая частью наполнена винянымъ спиртомъ. Наружное давленіе передается только спирту, наполняющему часть промежутка между гильзой и стекломъ термометра.

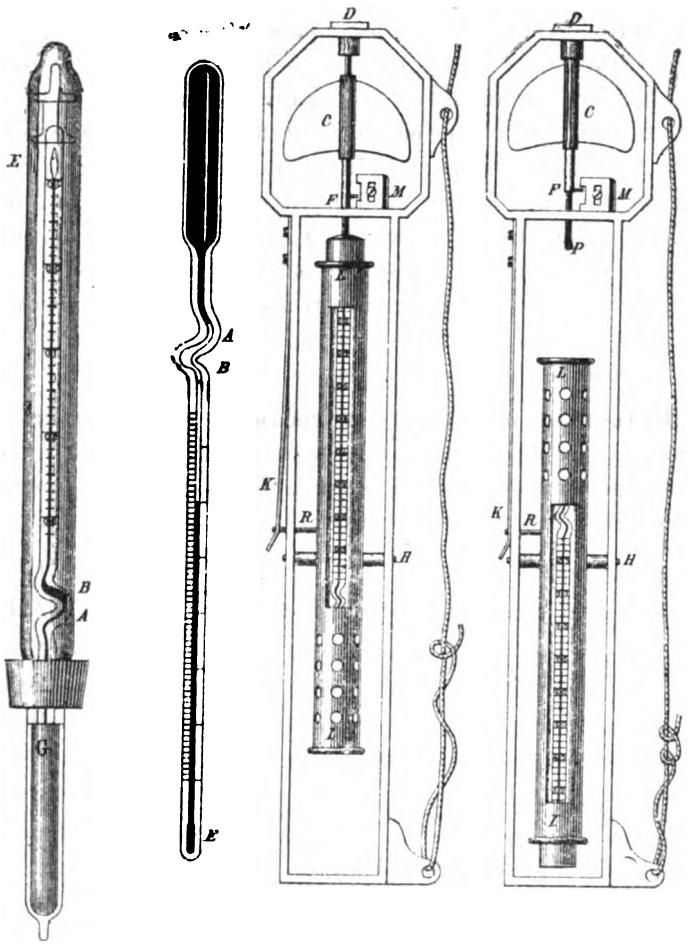


Фиг. 101.

Иной видъ имѣетъ термометръ Negretti и Zambra. Онъ устроенъ такъ (фиг. 101), что трубка въ мѣстѣ перехода ея въ шарикъ сужена и изогнута; при поворачиваніи термометра шарикомъ вверхъ, ртутный столбикъ въ трубкѣ отдѣляется отъ шарика и падаетъ на дно трубки. Термометрическая трубка помѣщается внутри толстой стеклянной трубки, которая припаивается вблизи шарика и, окружая послѣдній, предохраняетъ его отъ вліянія давленія на большихъ глубинахъ. Термометръ вкладывается въ металлическую оправу (фиг. 102, I) съ прорѣзью по длинѣ шкалы и прикрѣпляется къ особой рамѣ, внутри которой онъ свободно поворачивается около оси *H*. Для удержанія термометра шарикомъ внизъ, какъ показано на чертежѣ 102, верхняя

Digitized by Google

часть металлической оправы оканчивается выступомъ, внутрь котораго проходитъ нижній конецъ штифта *p*. Для поворачиванія термометра шарикомъ вверхъ существуетъ особое приспособленіе. Винтъ *C*, при погруженіи прибора вглубь, вращается



Фиг. 102.

такъ, что конецъ штифта *p* входитъ внутрь выступа оправы и тѣмъ удерживаетъ ее въ положеніи, показанномъ на чертежѣ (102, II). Когда же приборъ начинаютъ подымать вверхъ, то винтъ *C* вращается въ обратную сторону, штифтъ *p* выхо-

Digitized by Google

дитъ изъ выступа оправы, термометръ опрокидывается и принимаетъ положеніе, показанное на чертежѣ (фиг. 102, III). Для наблюденій приборъ привязываютъ къ лотлиню и, поворотивъ рукою винтъ въ рамѣ такъ, чтобы штифтъ *p* вошелъ внутрь выступа оправы, погружаютъ приборъ на требуемую глубину; послѣ того, какъ термометръ приметъ температуру воды на данной глубинѣ, подымаютъ его обратно. При обратномъ движеніи прибора, термометръ поворачивается шарикомъ вверхъ, отчего столбъ ртути у шарика отдѣляется и падаетъ на дно трубки; величина этого столбика соотвѣтствуетъ той температурѣ, какая имѣла мѣсто на данной глубинѣ и потому, поднявъ приборъ на палубу, и, не измѣняя его положенія, т. е. оставляя термометръ шарикомъ кверху, производятъ отсчетъ у верхняго конца ртутнаго столбика, такъ какъ въ этихъ приборахъ шкала идетъ отъ конца трубки къ шарику, а не наоборотъ, какъ у всякаго обыкновеннаго термометра.

Суточныя и годовыя колебанія. Въ открытомъ океанѣ суточныя колебанія воды на поверхности весьма незначительны; они не превышаютъ $0^{0}.5$ и, въ крайнихъ случаяхъ, достигаютъ 1^{0} при безвѣтріи и ясной погодѣ. На Challenger'ѣ найдено:

на экваторѣ	$0^{0}.40$
подъ 30^{0} с. ш. въ Атлантическомъ океанѣ . .	0.44
» 33^{0} ю. ш. » » » . .	0.44
» 37^{0} с. ш. » Тихомъ » . .	0.60
» 36^{0} ю. ш. » » » . .	0.50
въ высшихъ широтахъ.	0.2—0.1.

По наблюденіямъ Schott'а между тропиками:

при покрытомъ небѣ . . .	$0^{0}.4$
» ясномъ » . . .	0.7
» безвѣтріи	0.9—1.6
въ среднемъ	0.9

По Dickson'у:

въ Ирландскомъ морѣ . . .	$0^{0}.4$
южнѣе Британіи	0.3
около Шетландскихъ остров. .	01.—0.2.

Digitized by Google

Конечно, вблизи берега амплитуда можетъ достигать 2°—3°. Наступленіе максимума и минимума запаздываетъ по отношенію къ температурѣ воздуха. Максимумъ бываетъ спустя 4—5 часовъ послѣ полудня, а минимумъ на 2—3 часа позже восхода солнца. Суточныя колебанія проникаютъ вглубь иногда до 10 метровъ и болѣе. По наблюденіямъ Aimé въ Средиземномъ морѣ суточныя колебанія замѣтны еще на глубинѣ 18 метровъ. Точное опредѣленіе суточнаго хода затрудняется неправильными колебаніями температуры моря вблизи береговъ. Причина этихъ неправильностей зависитъ отъ вліянія вѣтра. Вѣтеръ, дующій отъ суши къ морю нормально къ линіи берега, можетъ понизить температуру воды въ береговой полосѣ на 8° — 10° въ сутки. Этимъ объясняются рѣзкія колебанія температуры въ береговой полосѣ Балтійскаго, Чернаго и Азовскаго морей.

Годовая періодичность въ ходѣ температуры океанической воды выражена рѣзче. Амплитуда колебаній въ тропическомъ поясѣ равна 2°; затѣмъ, она увеличивается по мѣрѣ удаленія отъ экватора и подъ 30—40° с. ш. достигаетъ 8°—10°; затѣмъ опять уменьшается. Въ сѣверномъ полушаріи она больше, чѣмъ въ южномъ (разница до 5°). По Schott'у, амплитуды годовыхъ колебаній находятся въ слѣдующей зависимости отъ широты:

широта . . .	0°	10	20	30	40	50
амплитуды . .	2°.3	2.4	3.6	5.9	7.5	4.7.

Максимумъ температуры въ сѣверномъ полушаріи бываетъ въ августѣ—сентябрѣ, а минимумъ въ февралѣ—мартѣ. Въ болѣе широкихъ предѣлахъ происходитъ годовое колебаніе температуры въ внутреннихъ моряхъ:

въ Средиземномъ	морѣ	амплитуда . . .	10°—14°
» Красномъ	»	» . . .	11—13
» Бѣломъ	»	» . . .	15
» Балтійскомъ	»	» . . .	17
» Черномъ	»	» . . .	20—24
» Японскомъ	»	» . . .	20—24

Особенно высокія температуры найдены въ Персидскомъ заливѣ, въ моряхъ Красномъ и Южно-Китайскомъ.

Digitized by Google

Изъ нѣкоторыхъ наблюденій найдено, что годовыя колебанія проникаютъ до 200—300 метровъ. Aimé въ Средиземномъ морѣ нашелъ глубину прониканія годовыхъ колебаній 300—400 метровъ. Пристичъ опредѣлилъ въ Средиземномъ морѣ слѣдующія величины амплитудъ:

на глубинѣ	0.0	метр.	. . .	10°.2
» »	27	»	. . .	2.8
» »	55	»	. . .	2.0
» »	110	»	. . .	1.0
» »	190	»	. . .	0.0

Въ Черномъ морѣ, по изслѣдованіямъ Шпиндлера, годовыя колебанія затухаютъ на глубинѣ, непревышающей 200 метровъ.

Географическое распредѣленіе температуры на поверхности океановъ. Географическое распредѣленіе температуры на поверхности океана обусловливается не только географическимъ положеніемъ различныхъ его точекъ, но также вліяніемъ общей океанической циркуляціи, а также морскими и воздушными теченіями. Чтобы можно было судить о распредѣленіи поверхностной температуры океановъ, наносятъ на карты кривыя, соединяющія тѣ точки океана, которыя имѣютъ одинаковыя поверхностныя температуры; кривыя эти называются океаническими *изотермами*. Карта изотермъ Атлантическаго океана, составленная для марта, показываетъ, что максимумъ температуры (28°) находится въ средней части Гвинейскаго залива между королевствомъ Дагоме и мысомъ Лопецъ (Lopez). Другой максимумъ (27°.5) лежитъ у мыса С. Рока (Южная Америка) и занимаетъ весьма небольшую область. Затѣмъ, по обѣ стороны экватора тянется поясъ воды съ температурой въ 25°; сѣверная его граница или крайняя сѣверная изотерма въ 25° начинается у о. Маргариты (западнѣе Тринидада), подымается сѣверо-восточнѣе Барбадоса до 19° N, затѣмъ опускается къ экватору до 7° N и оканчивается у береговъ Сенегамбіи подъ 12° N. Крайняя же южная изотерма въ 25° начинается на западѣ подъ 28° S, по серединѣ океана быстро приближается къ 12° S, затѣмъ направляется къ Африкѣ и пересѣкаетъ ея берега подъ 15° S. Такимъ образомъ, только что описанный поясъ теплыхъ водъ (25°) имѣетъ неодинаковую ширину въ различныхъ частяхъ океана: на западѣ онъ вдвое шире, чѣмъ на востокѣ. Существуетъ еще одна отдѣльная

Digitized by Google

область, имѣющая температуру 25°; она лежитъ въ сѣверо-восточной части Мексиканскаго залива, проходитъ черезъ проливъ Флориды и направляется къ СВ въ видѣ языка до 32° N. Къ сѣверу и къ югу отъ экваторіальнаго пояса поверхностныя температуры Атлантическаго океана начинаютъ убывать. Всѣ изотермы отъ 24° до 0° въ сѣверной части Атлантическаго океана начинаются у восточныхъ береговъ Америки; крайняя изотерма 0° проходитъ въ 50 миляхъ къ югу отъ Ньюфаундленда; затѣмъ эти изотермы расходятся отсюда вѣерообразно къ ESE, E и NE. Такъ какъ у береговъ Америки различныя изотермы лежатъ весьма близко одна къ другой, то въ западной части Атлантическаго океана поверхностныя температуры убываютъ весьма быстро; въ восточной части это измѣненіе температуры идетъ гораздо медленнѣе. Изотермы, въ области Гольфштрема, имѣютъ изгибы, направленные къ сѣверу, что легко объясняется болѣе высокой температурой этого теченія. Изгибы эти особенно замѣтны въ изотермахъ отъ 24° до 15°. Столь же характерны изгибы къ сѣверу въ изотермахъ отъ 5° до 0° у береговъ Европы, обусловленные общимъ стремленіемъ водъ къ NE. Изотерма, соединяющая тѣ точки океана, температура которыхъ равна 0°, начинается въ 50 миляхъ къ югу отъ Ньюфаундленда; она направляется къ сѣверной оконечности Исландіи, южной оконечности Шпицбергена и затѣмъ поворачиваетъ къ Кольскому полуострову. Подобнымъ расположеніемъ изотермъ объясняется сравнительно высокая температура сѣверо-западныхъ береговъ Европы и отсутствіе льда въ Норвежскихъ гаваняхъ. Изотермы въ южной части Атлантическаго океана расположены гораздо равномѣрнѣе, чѣмъ въ сѣверной. Около 40° S начинается довольно быстрое пониженіе температуры отъ 20° до 14°; между 40° и 60° S, у восточныхъ береговъ Америки, изотермы дѣлаютъ сильный поворотъ къ югу, что указываетъ на присутствіе въ этихъ широтахъ теплаго теченія, которое, судя по направленію изотермъ, должно направляться къ югу. Иное распредѣленіе поверхностныхъ температуръ въ сентябрѣ. Въ сентябрѣ наиболѣе высокая температура (30°) имѣетъ мѣсто въ Мексиканскомъ заливѣ, Флоридскомъ проливѣ и рукавѣ, идущемъ до 33° N. Экваторіальный поясъ перемѣщенъ къ сѣверу; крайняя сѣверная изотерма въ 25°, въ западной части Атлантическаго океана, доходитъ до 42° N, по

Digitized by Google

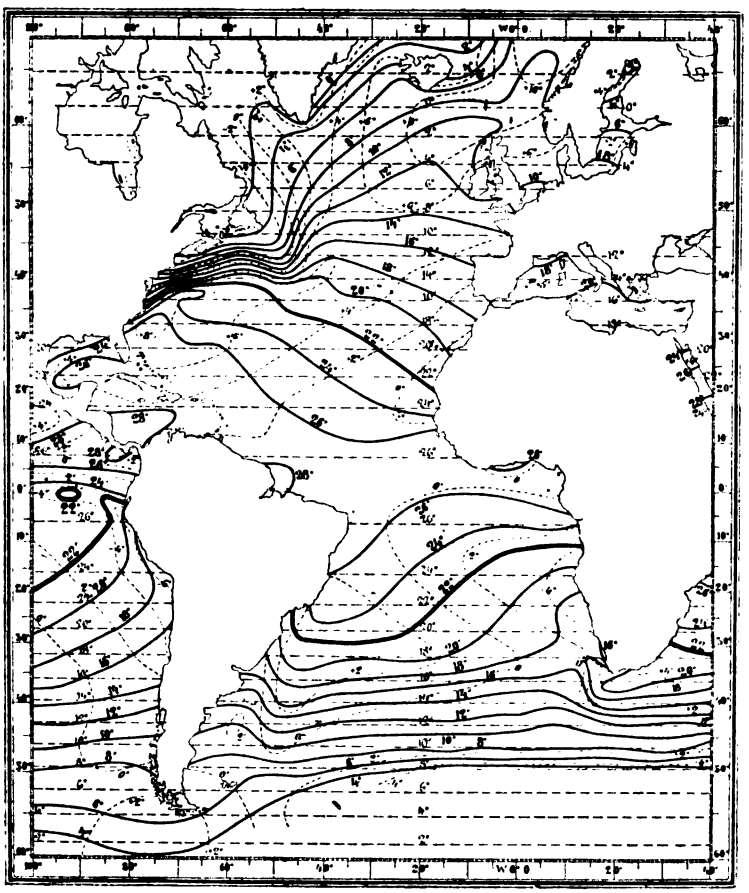
серединѣ океана она приближается къ экватору и въ восточной части океана опускается до 18° N. Южная изотерма въ 25° начинается у береговъ Америки подъ 16° S, а въ восточной части океана идетъ почти вдоль экватора. Далѣе, вся система изотермъ, какъ въ сѣверной, такъ и въ южной части Атлантическаго океана, передвинута къ сѣверу. Такъ напр., въ мартѣ всѣ изотермы отъ 24° до 0° начинаются южнѣе Ньюфаундленда; въ сентябрѣ же только изотермы отъ 25° до 10° лежатъ южнѣе Ньюфаундленда, остальныя начинаются сѣвернѣе. Изотермы отъ 10° до 4° въ западной части Атлантическаго океана дѣлаютъ изгибъ къ югу подъ вліяніемъ холоднаго Лабрадорскаго теченія и затѣмъ расходятся въ видѣ лучей по всему океану: изотерма 20° направляется къ Пиренейскому полуострову, изотерма 15° къ Ирландіи, изотерма 10° восходитъ къ Исландіи и сѣверной оконечности Европы, изотерма 0° идетъ сѣвернѣе Исландіи и сѣверо-западнѣе Шпицбергена. Въ южной части Атлантическаго океана ходъ изотермъ почти тотъ же, что и въ мартѣ, только температура вездѣ на 5° ниже. Годовое распредѣленіе [1]) температуръ на поверхности Атлантическаго океана можно видѣть на фиг. 103.

Распредѣленіе поверхностной температуры въ Тихомъ океанѣ въ общихъ чертахъ сходно съ распредѣленіемъ ея въ Атлантическомъ океанѣ. Экваторіальный поясъ максимальной температуры лежитъ въ мартѣ по обѣ стороны экватора, а въ сентябрѣ перемѣщается къ сѣверу; изотермы сѣверной части Тихаго океана не имѣютъ такого лучистаго направленія и такихъ сильныхъ изгибовъ, какъ въ Атлантическомъ океанѣ, а расположены почти параллельно другъ другу. Гольфштрему въ Атлантическомъ соотвѣтствуетъ Куро-Сива (Японское) въ Тихомъ океанѣ, но поворотъ изотермъ въ области послѣдняго теченія къ сѣверу не такъ значителенъ, какъ въ Атлантическомъ океанѣ. Изотермы южной части Тихаго океана поднимаются у береговъ Америки къ сѣверу вслѣдствіе холоднаго Перуанскаго (Гумбольдтова) теченія. Наиболѣе высокая поверхностная температура Тихаго океана наблюдается въ Зондскомъ архипелагѣ

[1]) На картахъ годовыхъ изотермъ непрерывныя кривыя представляютъ изотермы года; пунктирными линіями (.....) отмѣчены изономали, а прерывистыми (— — —) — параллели нормальныхъ температуръ.

Digitized by Google

близъ Целебеса (29° С). Годовое распредѣленіе поверхностныхъ температуръ представлено на фиг. 104.



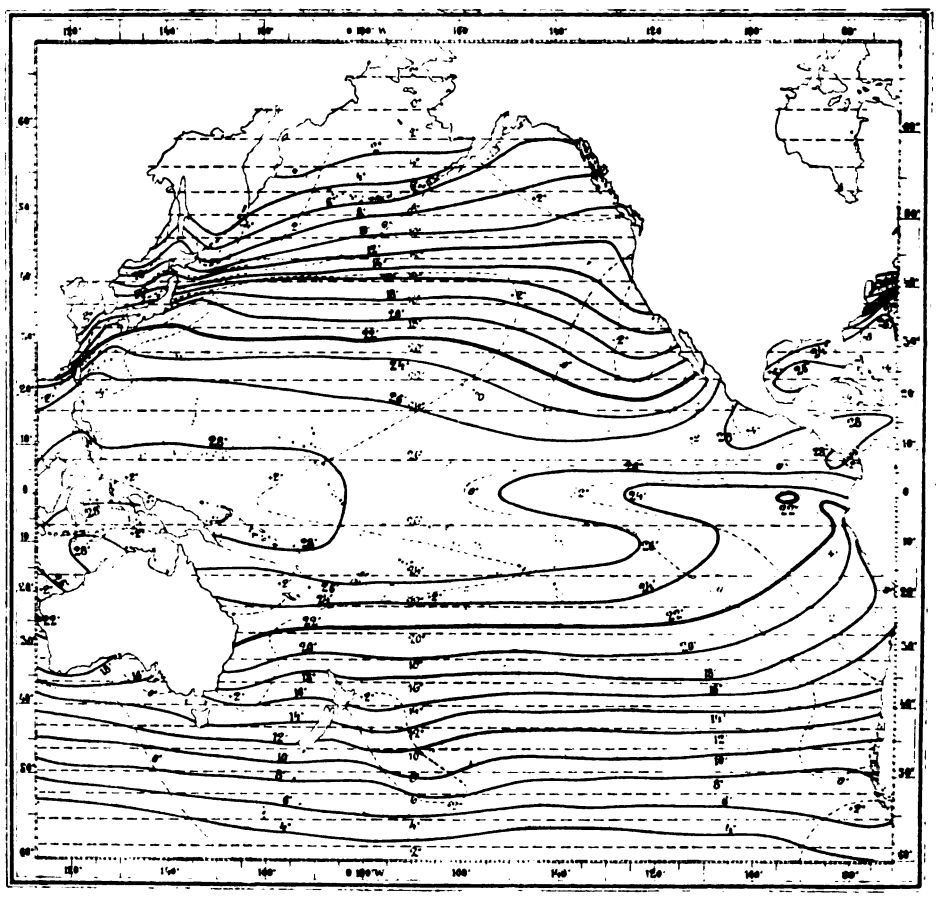
Фиг. 103.

Еще правильнѣе расположеніе изотермъ въ Индійскомъ океанѣ. Изгибы къ югу наблюдаются у береговъ Африки, происходящіе отъ теплаго Мозамбикскаго теченія, и къ сѣверу у береговъ Австраліи—отъ холоднаго Австралійскаго теченія. Фиг. 105 даетъ распредѣленіе среднихъ годовыхъ температуръ.

Въ заключеніе, приводимъ *крайнія* температуры, которыя наблюдаются на поверхности океановъ. Максимумъ температуры

Digitized by Google

былъ найденъ въ сѣверной части Персидскаго залива (35°.6). Другой максимумъ 32°.8 былъ наблюденъ въ Южно-Китайскомъ морѣ у береговъ Сіама; наконецъ, вблизи Целебеса, подъ 4° 14′ N и 124° 18′ E, на «Челленджерѣ» измѣрена температура



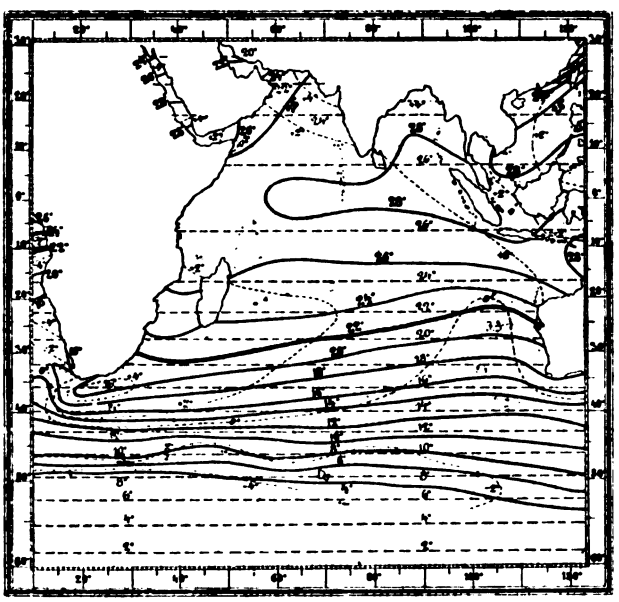
Фиг. 104.

31°.1 C. Самая низкая температура, а именно — 2°.8 C найдена была 18 и 24 февраля 1864 (Челленджеръ) подъ 65° N. Такимъ образомъ, амплитуда колебаній поверхностной температуры океановъ составляетъ 35°.6 + 2°.8 = 38°.4 и, слѣд., значительно меньше амплитуды колебаній температуры воздуха.

Digitized by Google

Krümmel вычислилъ среднюю температуру поверхностныхъ водъ Атлантическаго океана по параллелямъ:

широта	февраль	августъ	годъ	годов. амплитуда
50° с. ш. . .	7°.9	15°.0	11°.4	7°.1
40 » » . .	15.2	22.7	19.0	7.5
30 » » . .	20.1	25.8	23.0	5.7
20 » » . .	24.6	27.3	26.0	2.7
10 » » . .	25.5	27.5	26.5	2.0
0 » » . .	27.2	24.9	26.0	2.3
10 ю. ш. . .	26.4	22.7	24.6	3.7
20 » » . .	23.8	20.0	21.9	3.8
30 » » . .	22.9	17.2	20.0	5.7
40 » » . .	17.0	11.6	14.3	5.4
50 » » . .	6.8	3.1	5.0	3.7



Фиг. 105.

Изъ этой таблицы видно, что поверхностныя воды сѣверной части Атлантическаго океана теплѣе южныхъ; но амплитуды годовыхъ колебаній, напротивъ того, меньше въ южной части, чѣмъ въ сѣверной.

Digitized by Google

Распредѣленіе температуры по вертикальному направленію. Особенный интересъ представляетъ распредѣленіе температуры по вертикальному направленію. Всѣ океаническія экспедиціи послѣдняго времени показали, что, въ океанахъ жаркаго и умѣреннаго поясовъ и въ лѣтнюю половину года въ полярныхъ моряхъ, температура съ глубиною понижается до самаго дна и въ нижнихъ ярусахъ океановъ существуетъ слой холодной воды весьма значительной мощности. Общимъ выразителемъ этого пониженія можетъ служить слѣдующая табличка Buchan'a:

глубина въ метр.	180	360	550	730	910	1280	1650	2010	2380	2740	4020
температура . .	15°.9	10.1	7.1	5.4	4.5	3.4	2.7	2.3	2.0	1.8	1.8

Наиболѣе низкая температура на днѣ въ низкихъ и умѣренныхъ широтахъ падаетъ до —0°.5 и —0°.6, а въ полярныхъ моряхъ до —2°.0.

Для того, чтобы судить о законахъ распредѣленія океаническихъ температуръ по вертикальному направленію, проводятъ мысленно поверхности черезъ каждые 2° или болѣе (поверхности одинаковыхъ температуръ). Если мы желаемъ прослѣдить температуру по какому нибудь направленію, то нужно разсѣчь океанъ вертикальной плоскостью, совпадающей съ избраннымъ направленіемъ. Эта вертикальная плоскость разсѣчетъ всѣ изотермическія поверхности и на такой вертикальной плоскости получится термическій профиль океана по избранному направленію. Такіе профили мы можемъ получить по направленію меридіана или по направленію какой-нибудь параллели.

Такъ какъ распредѣленіе подводныхъ температуръ неравномѣрно, то изотермическія поверхности вообще изогнуты и въ различныхъ частяхъ океановъ лежатъ на различныхъ глубинахъ. Наблюденія показываютъ, что, начиная съ поверхности, температура океана постепенно убываетъ — сперва быстро, потомъ медленнѣе; особенно быстрое убываніе замѣчено подъ экваторомъ (здѣсь до глубины первыхъ 90—100 метровъ температура убываетъ на 13°—14°). На глубинѣ 730—1100 м. господствуютъ температуры около 4°. Отъ этого слоя идетъ еще болѣе медленное пониженіе до самаго дна. Въ полярныхъ странахъ температура воды на днѣ понижается до —2°.0; въ моряхъ, сосѣднихъ съ полярными, она колеблется между 0° и

Digitized by Google

—1°.5, въ среднихъ широтахъ на глубинахъ 3660 — 5490 м.— между +1° и +2°, а вблизи экватора падаетъ даже до 0°. Такимъ образомъ, температура на большихъ глубинахъ колеблется въ предѣлахъ —2°.0 и +2°.0. Температура дна тѣхъ частей океана, которыя находятся въ свободномъ сообщеніи съ полярными морями, ниже, чѣмъ соотвѣтствующая температура зимы на поверхности, и только нѣсколько выше, чѣмъ температура дна въ полярныхъ странахъ; поэтому южныя части Атлантическаго и Тихаго океановъ имѣютъ болѣе низкія температуры дна, чѣмъ сѣверныя. Такова общая схема распредѣленія температуры океаническихъ водъ по вертикальному направленію. Но вслѣдствіе различныхъ мѣстныхъ условій возможны и отступленія отъ этой схемы. Такъ, напр., въ нѣкоторыхъ частяхъ полярныхъ морей температуры на поверхности могутъ быть ниже, чѣмъ на глубинѣ; нерѣдко также можно видѣть слой болѣе теплой воды между двумя болѣе холодными. Подобныя аномаліи замѣчены, между прочимъ, во время экспедиціи «Челленджера»; 14 февраля 1874 г. подъ 65° 42′ S и 79° 40′ W найдено:

на поверхности	—1°.2
» глубинѣ 91 м.	—1°.7
» » 366 м.	—0°.8
» » отъ 550 до 730 м. .	отъ 0° до +0°.4.

Такое повышеніе температуры съ глубиною можно объяснить тѣмъ, что вода происходящая отъ таянья ледяныхъ глыбъ, какъ менѣе соленая, а потому и менѣе плотная, остается на поверхности океана; внизу же находятся слои болѣе соленой и болѣе теплой воды.

Другого рода аномалія была наблюдена Мономъ въ іюнѣ 1877 г. между Норвегіей и Шпицбергеномъ; Монъ нашелъ:

на поверхности моря температура . .	7°.6
» глубинѣ 110 м. » . .	3°.8
» » 256 м. » . .	5°.0.

Такимъ образомъ, слой воды съ температурой 3°.8 находился между двумя другими болѣе теплыми слоями. Остановимся теперь на нѣкоторыхъ особенностяхъ въ распредѣленіи температуръ въ каждомъ изъ океановъ. Въ Атлантическомъ океанѣ между 30° и 50° N, до глубины первыхъ 500—600 метровъ, лежитъ слой воды, средняя температура котораго около 15°.6.

Digitized by Google

Если глубина океана меньше 3500 метровъ, то температура воды непрерывно понижается до самаго дна; если же глубина болѣе 3500 метровъ, то ниже этой глубины лежитъ слой воды однообразной температуры различной, впрочемъ, для различныхъ частей океана. Въ сѣверной части Атлантическаго океана температура этого нижняго слоя воды около $1^0.8$; южнѣе же линіи, проведенной отъ м. Доброй Надежды къ о. Тристанъ д'Акунья, она колеблется отъ $0^0.5$ до $1^0.1$; между восточными берегами Южной Америки и линіей, идущей отъ о. Тристанъ д'Акунья къ о. Вознесенія, температура дна падаетъ до $-0^0.6$. Низкія подводныя температуры найдены даже подъ экваторомъ ($0^0.4$—$0^0.9$). Подъ экваторомъ холодныя воды подступаютъ даже ближе къ поверхности, чѣмъ въ другихъ частяхъ океана. Вообще, изотермическія поверхности находятся въ различныхъ частяхъ океана на неодинаковыхъ, какъ мы уже замѣтили, глубинахъ. Такъ, напр., изотермическая поверхность, соединяющая тѣ точки океана, которыя имѣютъ температуру 10^0, въ сѣверной части Атлантическаго океана находятся приблизительно на глубинѣ 700 метровъ, а между 12^0 N и 6^0 S на глубинѣ 250—350 метр. подъ поверхностью воды. Изотермическая поверхность въ $4^0.4$ въ сѣверной части Атлантическаго океана между 20^0 и 36^0 N лежитъ на глубинѣ 1200 — 1600 метровъ, подъ экваторомъ же она поднимается до глубины въ 600 метр. и въ южной части Атлантическаго океана подъ тѣми же широтами лежитъ на глубинѣ 600—700 метровъ. Слѣдовательно, холодныя воды въ сѣверной части океана находятся глубже, чѣмъ подъ экваторомъ и въ южной части. Такое же неравномѣрное распредѣленіе изотермическихъ поверхностей наблюдается также въ западной и восточной частяхъ Атлантическаго океана. Между 20^0 и 40^0 N воды, лежащія выше 800 метровъ, въ западной части Атлантическаго океана теплѣе, чѣмъ въ восточной (кромѣ той полосы, гдѣ находится Лабрадорское теченіе); обратное отношеніе имѣетъ мѣсто для слоевъ воды, лежащихъ ниже 800 метровъ; изотермическая поверхность $4^0.4$ въ западной части океана на 350 метровъ выше, чѣмъ въ восточной; даже температура дна на $0^0.5$ ниже на востокѣ, чѣмъ на западѣ океана. Вообще, восточная часть океана наполнена болѣе теплою водою, чѣмъ западная. По такой же схемѣ распредѣлены и температуры Тихаго океана. До глубины первыхъ 350 метровъ температура воды

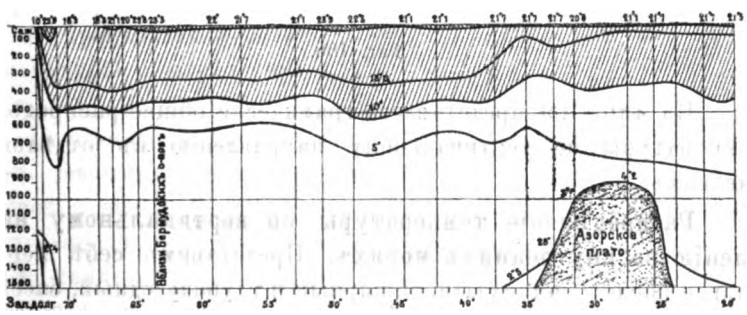
Digitized by Google

въ сѣверной части Тихаго океана выше, чѣмъ въ южной, а отъ 350 до 2700 метровъ—обратно; отъ 2700 метровъ и дальше до дна въ южной части нѣсколько ниже, чѣмъ въ сѣверной; въ южной—температура эта колеблется между $0^0.5$ и $1^0.4$, а въ сѣверной—между $3^0.7$ и $1^0.9$; такъ же различно положеніе изотермическихъ поверхностей въ восточной и западной частяхъ океана. Температура воды верхняго слоя до глубины 1200 метр. въ западной части океана выше, чѣмъ въ восточной; ниже 1200 метровъ—обратно.

Резюмируя все сказанное, мы видимъ, что температура поверхностнаго слоя океановъ колеблется въ весьма широкихъ предѣлахъ; затѣмъ до глубины около 100 метровъ она убываетъ очень быстро, особенно у экватора; далѣе пониженіе идетъ медленнѣе и на глубинѣ 800—1100 метровъ господствуетъ температура около 4^0; въ самыхъ нижнихъ слояхъ температура падаетъ въ нѣкоторыхъ частяхъ океановъ до -2^0 C; изотермическія поверхности ближе къ уровню океана въ южныхъ частяхъ океановъ, чѣмъ въ сѣверныхъ и вообще расположены неравномѣрно въ различныхъ частяхъ одного и того же океана. Низкія температуры океаническихъ глубинъ обусловливаются, какъ мы видѣли раньше, общей циркуляціей, существующей между экваторіальными и полярными водами (см. стр. 235—236).

Чтобы нагляднѣе судить о распредѣленіи температуры океаническихъ водъ по вертикальному направленію, приводимъ нѣсколько термическихъ профилей, а именно:

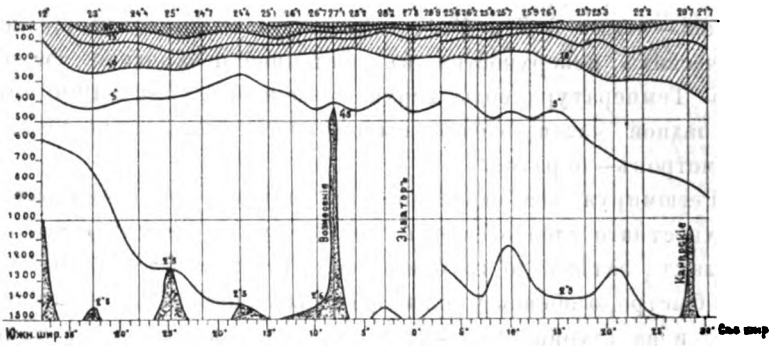
1) Термическій профиль Атлантическаго океана по линіи: м. Мей (Соединенные Штаты Сѣверной Америки) — острова Бермудскіе—Азорскіе—Мадейра (фиг. 106).



Фиг. 106.

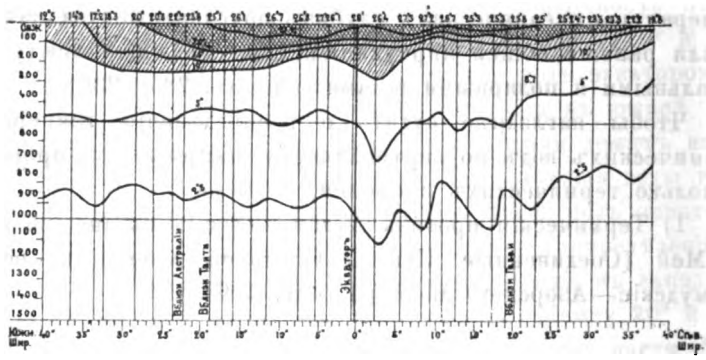
Digitized by Google

2) Профиль Атлантическаго океана по линіи острововъ Тристанъ д'Акунья—Вознесеніе—Зеленаго мыса—Канарскіе—Мадейра (фиг. 107).



Фиг. 107.

3) Термическій профиль Тихаго океана по линіи: Австралія—Таити—Гаваи (фиг. 108).



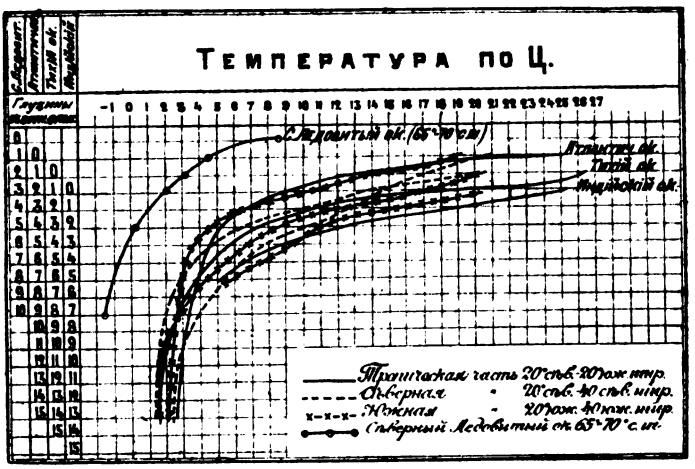
Фиг. 108.

На фиг. 109 представлено графически общее распредѣленіе температуры по вертикальному направленію въ отдѣльныхъ океанахъ.

Распредѣленіе температуры по вертикальному направленію во внутреннихъ моряхъ. Представимъ себѣ первоначально вполнѣ замкнутый, обширный и глубоководный, бассейнъ, наполненный прѣсной водой. Распредѣленіе температуры будетъ

Digitized by Google

зависѣть отъ нагрѣванія и охлажденія на поверхности и конвективныхъ токовъ. Частицы на поверхности, охлаждаясь, дѣлаются болѣе плотными и падаютъ внизъ. Эта циркуляція будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока вся масса не приметъ температуры наибольшей плотности, т. е. 4°. Если охлажденіе продолжается, то частицы уже болѣе не падаютъ, а остаются на поверхности. Вслѣдствіе этого, если глубина бассейна значительна, то въ холодное время температура на днѣ будетъ выше, чѣмъ на



Фиг. 109.

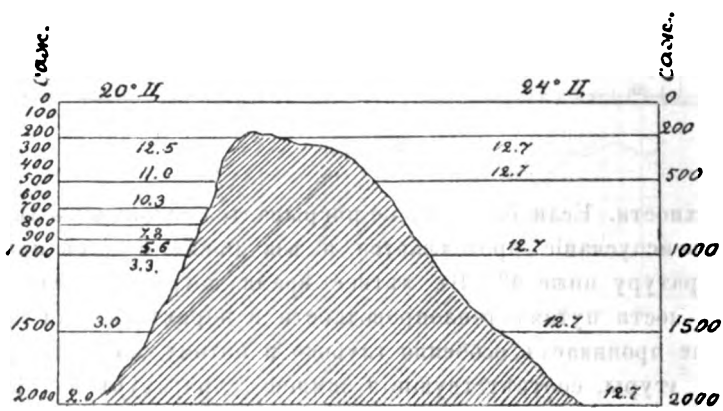
поверхности. Если бассейнъ не покрывается сплошнымъ льдомъ, то лучеиспусканіе продолжается и вся масса можетъ принять температуру ниже 4°. Въ лѣтнее время нагрѣваніе идетъ съ поверхности путемъ теплопроводности и перемѣшиванія слоевъ. Оно не проникаетъ особенно глубоко и потому на днѣ будутъ температуры, соотвѣтствующія зимней температурѣ на поверхности.

Положимъ далѣе, что нашъ бассейнъ наполненъ морской водой. Въ зимніе мѣсяцы вода охлаждается, дѣлается болѣе плотной и падаетъ на дно; нагрѣваніе лѣтомъ ограничивается зоною слоевъ извѣстной толщины, а потому въ такомъ бассейнѣ температура самыхъ низкихъ слоевъ должна соотвѣтствовать зимней температурѣ на поверхности.

Но если внутренній бассейнъ соединяется проливомъ съ

Digitized by Google

открытымъ океаномъ, то распредѣленіе температуры зависитъ отъ степени обмѣна водъ бассейна и открытаго океана. Напримѣръ, Средиземное море соединено съ Атлантическимъ океаномъ посредствомъ Гибралтарскаго пролива. Высшія точки дна Гибралтарскаго пролива лежатъ на глубинѣ 320 метровъ. Слѣдовательно, до глубины 320 метровъ возможенъ свободный обмѣнъ водъ Средиземнаго моря и Атлантическаго океана, и до этой глубины температуры одинаковы, какъ въ океанѣ такъ и въ морѣ. Но, по ту сторону пролива, въ Атлантическомъ океанѣ, температура понижается и на днѣ (4000 метровъ) достигаетъ 2°.0; въ Средиземномъ же морѣ отъ глубины 320 метровъ и до самаго дна температура остается постоянной и равна 12°.7. Такъ какъ Средиземное море имѣетъ значительное протяженіе, то температура на днѣ видоизмѣняется въ различныхъ мѣстахъ въ зависимости отъ мѣстныхъ климатическихъ условій. Напримѣръ, въ восточной части она равна, въ глубокихъ впадинахъ, 13°; въ Архипелагѣ—12°.8. На фиг. 110 представлено вертикальное распредѣленіе температуры по обѣ стороны Гибралтарскаго пролива.



Фиг. 110.

Интересно вертикальное распредѣленіе температуры въ Черномъ морѣ. Если бы Черное море представляло закрытый бассейнъ, то температура на днѣ была бы близка къ средней зимней температурѣ на поверхности. Но воды Чернаго моря, при посредствѣ проливовъ, находятся въ общеніи съ водами

Digitized by Google

Средиземнаго моря. Въ проливахъ, какъ мы уже видѣли, существуетъ двойная циркуляція. Воды Чернаго моря, какъ менѣе плотныя, стремятся къ Средиземному морю, а болѣе плотныя воды Средиземнаго моря направляются въ Черное море. Но на уровнѣ дна проливовъ вода Средиземнаго моря имѣетъ температуру 13°.4—13°.6. Такъ какъ эта циркуляція поддерживается весьма продолжительное время, то въ настоящую эпоху въ глубокихъ слояхъ водъ Чернаго моря, по всей вѣроятности, установилась стаціонарная температура равная 9°.0—9°.1. Въ зимнее время, поверхность воды охлаждается. Охлажденныя частицы начинаютъ опускаться; охлажденіе передается также путемъ теплопроводности. Но это охлажденіе переходитъ медленно, отъ слоя къ слою. Такъ какъ поверхностныя частицы имѣютъ меньшую соленость, чѣмъ глубинныя, поэтому онѣ не могутъ опуститься очень глубоко, ибо здѣсь онѣ встрѣчаютъ уже воду, осолоняемую теченіемъ изъ Босфора. Къ лѣту, это охлажденіе можетъ достигнуть глубины 60—90 метровъ. Въ это время вода на поверхности уже успѣваетъ нагрѣться до 20°—22°. Вслѣдствіе этого, въ распредѣленіи температуры по вертикальному направленію въ лѣтніе мѣсяцы замѣчается слѣдующая особенность. Температура отъ поверхности (20°—22°) первоначально падаетъ до глубины 60—90 метровъ до 7°. На этой глубинѣ встрѣчается, своего рода, холодная прослойка. Затѣмъ, температура опять повышается и на глубинѣ 600 метровъ равна уже 9°.1. Къ осени, прослойка эта опускается ниже и температура ея повышается, такъ что къ началу зимы температура во всей толщѣ Чернаго моря дѣлается равномѣрной, приближаясь къ 9°.

Красное море находится въ условіяхъ, подобныхъ условіямъ Средиземнаго моря. До глубины дна Бабэль-Мандебскаго пролива, температуры въ Индійскомъ океанѣ и въ Красномъ морѣ почти одинаковы; но отъ 600 метровъ и до дна температура въ Красномъ морѣ равна 21°.5. Въ моряхъ тропическаго пояса, зимнія охлажденія невелики и температура на глубинѣ зависитъ исключительно отъ температуры океана на уровнѣ гребня, отдѣляющаго внутреннее море отъ океана. Такъ, въ Карибскомъ морѣ, глубина гребня 1600—1800 метровъ; на этомъ уровнѣ температура въ океанѣ равна 4°.2 и эта же температура господствуетъ въ Карибскомъ морѣ отъ глубины

Digitized by Google

1600—1800 метровъ и до самаго дна. Въ морѣ Зулу глубина гребня 800 метровъ, и температура на глубинѣ равна 10°.2; въ морѣ Целебесъ глубина гребня 1800 метровъ и температура ниже 1800 метровъ равна 3°.6.

Особенность въ распредѣленіи температуры нѣкоторыхъ соленыхъ озеръ. Въ Венгріи существуютъ соленыя озера (содержаніе соли 22%—26%), которыя покрыты съ поверхности тонкимъ слоемъ менѣе соленой воды; содержаніе соли постепенно уменьшается къ поверхности до 2—3%. Эта поверхностная вода получается отъ притекающихъ ручьевъ и прибрежныхъ источниковъ. Подъ дѣйствіемъ солнечной инсоляціи, нагрѣвается тонкій наружный слой и верхнія части соленой воды. Въ этой нагрѣтой соленой водѣ, испареніе не можетъ происходить, такъ какъ она покрыта слоемъ прѣсной воды; степень концентраціи ея остается, поэтому, безъ измѣненія и, слѣдовательно, не могутъ образоваться конвективные токи, передающіе тепло ниже лежащимъ слоямъ. Съ другой стороны, *свѣтлая* солнечная радіація, свободно проходя сквозь тонкую пленку поверхностной опрѣсненной воды, проникаетъ въ соленую воду; здѣсь она обращается въ *темную* теплоту, которую не пропускаетъ уже выше лежащая прѣсная вода. Поэтому, въ промежуточномъ слоѣ, между болѣе соленой и болѣе прѣсной водой, температура можетъ достигать лѣтомъ 50°—60°. Приводимъ здѣсь наблюденія, произведенныя 25 іюля 1901 года въ одномъ изъ такихъ озеръ:

глубина (въ метр.) . .	0	0.10	0.42	0.52	0.72	1.00	1.32	1.82
уд. вѣсъ . .	—	1.038	1.140	1.156	—	1.176	1.180	1.186
темпер. . .	21°	—	39	45	50	54	56	53
глубина (въ метр.)	2.32	3.00	5.00	7.00	10.00	12.3	41.8	
удѣльн. вѣсъ . .	1.188	1.188	1.196	1.197	1.196	1.194	1.194	
температура . .	47°	39	31	29	23	20	19	

Сравненіе нагрѣванія суши и океана. Сравнимъ еще, съ точки зрѣнія тепловой экономіи, твердую и жидкую оболочки земли. Въ твердой корѣ лѣтнее тепло достигаетъ 10—20 метровъ; въ водной оболочкѣ—до 100—150 м. (въ внутреннихъ моряхъ) и 300—400 м. (въ открытыхъ моряхъ теплаго пояса). Вслѣдствіе болѣе высокой теплоемкости воды, скопленное въ ней тепло въ два раза больше, чѣмъ въ твердой корѣ (по объему).

Digitized by Google

Въ твердой корѣ зимою температура возрастаетъ съ глубиною; въ водныхъ массахъ температура къ началу зимы во всѣхъ слояхъ, до большой глубины, одинакова. Лѣтомъ, какъ въ твердой, такъ и въ жидкой оболочкахъ, температура съ глубиною убываетъ, причемъ въ твердой корѣ гораздо быстрѣе, чѣмъ въ жидкой оболочкѣ. Напримѣръ:

	Тюлисъ ночью			Женевское озеро		
	поверхн.	6.5 метр.	разн.	поверхн.	10 метр.	разн.
январь . . .	0°.4	15·2	14.8	5.4	5.5	0.1
іюль	31.3	13.8	17.5	20.6	17.3	3.3.

Женевское озеро даетъ, отъ лѣта къ зимѣ, около 370000 большихъ калорій на 1 кв. метръ; а это количество тепла можетъ, въ теченіе 180 дней, нагрѣть на 10° столбъ воздуха надъ озеромъ высотою въ 640 метровъ [1]).

Распредѣленіе температуры на различныхъ глубинахъ Женевскаго озера выражается слѣдующими числами:

глубина въ метр.	0	10	20	30	40	50	60
іюль—августъ .	20°.6	17.3	12.5	10.1	7.8	6.9	6.4
октябрь . . .	12.1	11.9	10.1	9.4	8.0	6.9	6.3
январь—февраль	5.4	5.3	5.2	5.1	5.1	5.1	5.1.

Изъ этой таблички видно, что зимою дѣйствіе холода проникаетъ далеко вглубь. Лѣтняя инсоляція ограничивается сравнительно небольшой толщей. Въ февралѣ и мартѣ температура воды отъ поверхности до дна почти одна и та же; средняя температура всей массы достигаетъ минимума. Затѣмъ она начинаетъ увеличиваться и въ августѣ достигаетъ максимума. Тепло, скопленное моремъ въ теченіе лѣта, къ зимѣ опять отдается поверхности. Этимъ объясняются высокія осеннія температуры, особенно въ восточной части Средиземнаго моря. Отличительная черта въ годовомъ распредѣленіи тепла на поверхности воды—это запозданіе въ наступленіи максимума и минимума, какъ это можно видѣть изъ слѣдующаго:

---

[1]) Кубическій метръ воздуха вѣситъ 1.293 килогр.; теплоемкость воздуха равна 0.238; чтобы нагрѣть 1 куб. метръ воздуха на 1° нужно 0.307 большихъ калорій.

Digitized by Google

	минимумъ	максимумъ	амп.
Женевское озеро по Forel'ю .	5°.2 (февраль)	20.1 (августъ)	14.9
Атлант. океанъ 10°—20° с. ш.	22.3 (мартъ)	26.6 (сен.—окт.)	4.3
» » 35 с. ш.	16.7 (февраль)	24.0 (августъ)	7.3
» » 45 с. ш.	12.2 (февраль)	19.5 (августъ)	7.3
» » 60 с. ш.	6.6 (февр.—мартъ)	12.4 (августъ)	5.8

Намъ извѣстно, что, въ среднихъ широтахъ, амплитуда годовыхъ колебаній поверхности суши измѣняется въ предѣлахъ 25°—40°, между тѣмъ на поверхности океановъ она не превышаетъ 6°—12°, чѣмъ и объясняется умѣряющее дѣйствіе морей. И дѣйствительно, средняя температура слоя толщиною въ 60 сант. равна:

въ іюлѣ—августѣ. . .	11°.35
» январѣ—февралѣ . .	5.18
разность . . .	6.17°,

что соотвѣтствуетъ отдачѣ тепла, равной 370200 большихъ калорій на квадратный метръ. Точно также въ Балтійскомъ морѣ средняя температура до глубины 55 метровъ:

въ августѣ. . . .	11°.0
» ноябрѣ	8.5°
» мартѣ	1.4,

что соотвѣтствуетъ отдачѣ тепла:

отъ августа къ ноябрю	137500 кал.
» ноября » марту	390000 »
а всего . . .	527500 » .

Schubert далъ сравнительныя числа, показывающія годовую отдачу тепла твердой и жидкой оболочки въ большихъ калоріяхъ на 1 кв. метръ:

песчаная почва подъ сосновымъ лѣсомъ	12900
» » » травой	18500
Нѣмецкое море до 55 метровъ глубины.	520000.

Слѣдовательно, квадратный метръ водной поверхности отдаетъ тепла въ 30 — 40 разъ болѣе, чѣмъ поверхность почвы. Числа эти по мѣсяцамъ распредѣляются крайне неравномѣрно.

Digitized by Google

Водная поверхность отдаетъ воздуху особенно большой запасъ аккумулированнаго тепла въ октябрѣ и ноябрѣ. Эта отдача тепла должна сильно замедлять охлажденіе воздуха въ осенніе мѣсяцы и дѣйствовать умѣряющимъ образомъ на климатъ приморскихъ странъ.

Образованіе льда. Въ наиболѣе высокихъ широтахъ поверхность моря покрыта льдами двоякаго происхожденія: 1) отъ замерзанія морской воды и 2) отъ обламыванія полярныхъ глетчеровъ Небольшая часть льда приносится изъ устьевъ рѣкъ. Ледъ, происходящій отъ замерзанія морской воды, нѣсколько ноздреватъ и, въ большомъ кускѣ, синяго цвѣта. Ледъ глетчеровъ имѣетъ слоистое строеніе, меньшую прозрачность и весьма ноздреватъ. Большія скопленія морского льда образуютъ ледяныя поля; глетчерный ледъ даетъ ледяныя горы (айсберги). Зная удѣльный вѣсъ льда и плотность воды, нетрудно опредѣлить мощность ледяныхъ полей и ледяныхъ горъ. При вычисленіи этой мощности, нужно принять еще въ расчетъ наружную нагрузку льдовъ (снѣгъ, обломки горныхъ породъ). Ледяныя горы обыкновенно выходятъ изъ водъ на $^1/_7$—$^1/_9$ часть, а ледяныя поля—на $^1/_4$ всей толщи. Мы видѣли раньше условія охлажденія и замерзанія прѣсныхъ бассейновъ. Гораздо труднѣе объяснить замерзаніе морской воды, имѣющей соленость, равную средней солености океановъ. Обыкновенно, въ тихую погоду, на поверхности воды образуются кристаллы гексагональной системы; эти кристаллики смерзаются въ небольшіе куски. Подъ напоромъ вѣтра и дѣйствіемъ холода эти куски собираются въ болѣе значительныя массы. Чаще всего новый ледъ образуется у береговъ или около льдовъ прежнихъ лѣтъ. Ледяныя массы могутъ смерзаться, нагромождаться другъ на друга и занимаютъ большія пространства по горизонтальному направленію. Въ этомъ случаѣ они называются *ледяными полями*. Всѣ ледяныя массы, которыя окружаютъ земные полюсы, образуютъ непроходимый ледяной барьеръ, называемый *паком*. Ледяныя поля, при извѣстныхъ условіяхъ погоды, разламываются на части, опять смерзаются и выдѣляютъ, на экваторіальныхъ своихъ границахъ, массу плавучаго льда. Подъ вліяніемъ давленія и напора, на поверхности ледяныхъ полей образуются цѣлые кряжи холмовъ, торосы, высота которыхъ опредѣляется въ отдѣльныхъ случаяхъ въ 30 и даже 40 метровъ. По наблюденіямъ полярныхъ изслѣ-

Digitized by Google

дователей, толщина ледяного покрова, могущаго образоваться въ одну зиму, не превышаетъ 2.5 метра; слѣдовательно, поля болѣе значительной мощности образуются взаимнымъ нагроможденіемъ массъ. Накопленіе ледяныхъ полей около полюсовъ имѣетъ свой предѣлъ. Одна часть льда таетъ въ теченіе лѣта; другая— отрываясь, уносится въ болѣе низкія широты. При образованіи льда, соль выдѣляется только частью. Вода, получаемая отъ таянія ледяного поля, по Макарову, содержитъ 0.2—0.7% соли. Удѣльный вѣсъ льда при 0° равенъ 0.917 (по отношенію къ дистиллированной водѣ при 4°), а по Макарову, при температурахъ отъ 0° до 1°.3, онъ колеблется отъ 0.858 до 0.936.

Ледяныя горы или айсберги представляютъ обломки полярныхъ глетчеровъ. Въ полярныхъ странахъ линія вѣчнаго снѣга понижается и сползающіе глетчеры входятъ въ море. Подъ напоромъ морской воды и океаническихъ волнъ, огромныя части льда отламываются и образуютъ ледяныя горы. Источниками, питающими эти айсберги, являются глетчеры Гренландіи и отчасти Шпицбергена, земли Франца Іосифа и сѣверныхъ береговъ Новой Земли. Въ Арктическомъ океанѣ не встрѣчаются ледяныя горы выше 40—60 метровъ, на Challenger'ѣ отмѣчена наибольшая высота 76 метровъ. Какъ льдины ледяныхъ полей, такъ и ледяныя горы, уносятся теченіями въ болѣе низкія широты. Существуютъ, своего рода, большія дороги, по которымъ несутся льды. Одна такая большая дорога лежитъ вдоль восточныхъ береговъ Гренландіи. Сильное полярное теченіе выходитъ также изъ Баффинова залива и Дэвисова пролива. Границы распространенія пака, а также ледяныхъ горъ, нанесены на карты. Замѣтимъ только, что эти границы претерпѣваютъ, изъ года въ годъ, значительныя колебанія. Нѣкоторые ученые связываютъ эти перемѣщенія съ климатическими колебаніями умѣреннаго пояса. Но связь эта, до настоящаго времени, точно не установлена.

Черное море и краткое обозрѣніе физическихъ его особенностей. Черное море съ Азовскимъ занимаетъ, по вычисленіямъ Krümmel'я, площадь въ 381.500 квадратныхъ километровъ[1]). До недавняго времени физическія и химическія свойства Чернаго моря были весьма мало изслѣдованы. Опредѣленія

[1]) Krümmel. Vergleichende Morphologie des Meeresraumes.

Digitized by Google

въ открытомъ морѣ были немногочисленны и имѣли отрывочный характеръ. Болѣе систематическія наблюденія произведены на прибрежныхъ станціяхъ и маякахъ надъ колебаніями уровня и температурой въ береговой полосѣ. Въ открытомъ морѣ заслуживаютъ вниманія измѣренія рѣдкаго любителя науки покойнаго проф. Лапшина, гг. Майделя, Врангеля и Макарова (вблизи Босфора). Вполнѣ систематическій характеръ имѣли также береговые съемки и промѣры, установившіе характеръ и направленіе береговой линіи и прибрежнаго дна на значительномъ протяженіи. Послѣднія изслѣдованія тѣсно связаны съ именемъ почтеннаго адмирала Зарудnаго. Рельефъ дна въ открытомъ морѣ оставался совершенно неизвѣстнымъ. На англійской картѣ отмѣчено нѣсколько цыфръ, указывающихъ на то, что наибольшая глубина лежитъ на линіи Севастополь-Константинополь и достигаетъ 1070 саженъ. Въ 1889 году, въ средѣ новороссійскаго общества естествоиспытателей, возникла мысль о необходимости глубоководныхъ изслѣдованій Чернаго моря. Мысль эта была поддержана Географическимъ Обществомъ и VIII съѣздомъ русскихъ естествоиспытателей и, въ слѣдующемъ же 1890 году, получила осуществленіе. Г. Управляющему Морскимъ Министерствомъ Н. М. Чихачеву угодно было снарядить экспедицію подъ начальствомъ подполковника Шпиндлера, при участіи гг. Врангеля и Андрусова, для гидрографическихъ изслѣдованій Чернаго моря. Первая же кампанія 1890 г. доставила обильный гидрографическій матеріалъ и указала нѣкоторыя интересныя химическія особенности, а именно, зараженіе водъ Чернаго моря сѣроводородомъ. Изслѣдованія были возобновлены въ слѣдующемъ 1891 году, подъ общимъ начальствомъ І. Б. Шпиндлера. Въ виду важности предстоявшей экспедиціи, новороссійское общество естествоиспытателей рѣшило ассигновать всѣ экскурсіонныя свои суммы (въ размѣрѣ 500 руб. сер.) на химическія и біологическія изслѣдованія Чернаго моря. Одесское общественное городское управленіе и Императорское Русское Географическое Общество, сочувствуя цѣлямъ экспедиціи, съ своей стороны, ассигновали по 300 р. (всего 1100 р. с.). Всѣ спеціалисты-химики нашего университета приняли живое участіе въ разработкѣ программы изслѣдованій. Химическія изслѣдованія поручены были А. А. Лебединцеву, а біологическія—г. Остроумову.

Глубоководныя экспедиціи 1890 и 1891 годовъ дали возмож-

Digitized by Google

ность, прежде всего, составить общее представленіе о рельефѣ дна Чернаго моря. Линія 100-саженной глубины, служащая границей собственно береговой полосы, неодинаково удалена отъ берега. Она весьма близко подходитъ къ берегамъ Кавказа, Малой Азіи и отчасти южнаго берега Крыма, и значительно удаляется отъ берега въ сѣверо-западной части Чернаго моря. За линіей 100-саженной глубины дно быстро падаетъ къ центральной части, гдѣ лежитъ впадина, въ которой измѣрены глубины въ 1226 и 1227 саж. (6 футовыхъ), т. е. 2 версты 52 сажени. Но скатъ въ эти пучины не одинаково крутъ. У крымскихъ береговъ изобаты (линіи, проведенныя чрезъ одинаковыя глубины) тѣснятся къ берегу (скатъ, слѣд., круче), а затѣмъ начинаютъ расходиться при приближеніи къ Керченскому проливу; тоже явленіе замѣчаемъ и на юго-западѣ—сближеніе изобатъ у Амастра и Пендераклiи и расхожденіе къ Босфору. Въ общемъ, водоемъ Чернаго моря имѣетъ видъ котловины, узкой въ юго-западной части и расширенной на сѣверо-востокѣ; ось наибольшей впадины направлена отъ SW къ NE и совпадаетъ съ осью главной системы горныхъ складокъ въ Крыму. Второстепенная ось восточной половины соотвѣтствуетъ, по словамъ Шпиндлера, оси складокъ Кавказа. Спускъ въ эту котловину, начиная со 100-саж. глубины, идетъ круто. Напр., паденіе у Анатолійскаго берега даетъ уголъ 4° 8′, противъ Алупки—5° 50′. Между Требизондомъ и Батумомъ (у г. Ризо) 100-саженная линія расположена у самаго берега, а въ 4 миляхъ отъ него—800 саж., что даетъ для угла ската около 10°. Наибольшая крутизна имѣетъ мѣсто на глубинѣ отъ 100 до 700 с.; далѣе—дно понижается медленно. Азовское море совершенно мелководно; наибольшая глубина не превышаетъ 8 саженъ. Черное море въ отношеніи глубины остается позади нѣкоторыхъ внутреннихъ морей, напр., Средиземнаго, наибольшая глубина котораго достигаетъ $2^1/_2$ верстъ; но оно значительно глубже Нѣмецкаго (наибольшая глубина 400 саж.) и Балтійскаго (наибольшая глубина около 240 саж.).

Черноморская впадина выполнена водой, уровень которой находится на высотѣ, близкой къ уровню другихъ морей и океановъ, омывающихъ берега Европы. Уровень Чернаго моря у Одессы ниже уровня Балтійскаго моря у Кронштадта на 0.13 метра.

Digitized by Google

Посредствомъ проливовъ воды Чернаго моря находятся въ постоянномъ обмѣнѣ съ водами Средиземнаго моря. Менѣе соленыя и менѣе плотныя воды Чернаго моря направляются по поверхности въ Средиземное море, образуя верхнее теченіе; внизу же существуетъ обратное контръ-теченіе болѣе соленыхъ и болѣе плотныхъ водъ Средиземнаго моря. Эта двойная циркуляція водъ непосредственно доказана наблюденіями адмирала Манарова.

Прибрежный уровень водъ Чернаго моря не остается безъ измѣненія. Онъ постоянно колеблется, то повышаясь, то понижаясь. Если внимательно изучать эти колебанія по футштокамъ, то замѣтимъ, во-первыхъ, что, въ среднемъ, уровень стоитъ выше въ лѣтніе мѣсяцы и понижается въ зимніе, и это справедливо для всего русскаго побережья Чернаго моря. Во-вторыхъ, среднее годовое стояніе уровня измѣняется отъ одного года къ другому. Тутъ періодически смѣняются высокія и низкія стоянія, при чемъ опять замѣтно одновременное поднятіе и пониженіе по всему русскому побережью. Уровень, наконецъ, претерпѣваетъ непрерывныя измѣненія отъ одного дня къ другому, нерѣдко отъ одного часа къ другому, и колебанія эти весьма значительны. Наприм., въ Одессѣ, отъ 9 час. утра 28 декабря 1887 года къ 9 час. утра слѣдующаго дня, высота уровня измѣнилась на 3 фута и 6 дюймовъ; въ Таганрогѣ въ теченіе 24 часовъ (7 час. утра 30-го декабря 1887 г.—7 час. утра 31 декабря 1887 года) уровень повысился на 11 футовъ и 5 дюймовъ.

Наблюденія надъ колебаніями берегового уровня въ Одессѣ производятся съ 1875 года вблизи Воронцовскаго маяка. Для этой цѣли установлена рейка, дѣленія которой расположены сверху внизъ; нулевая точка находится всегда выше уровня воды. Постоянная береговая марка отмѣчена на каменной стѣнѣ карантиннаго мола. Высота марки надъ нулемъ футштока равна 4 футамъ и 6 дюймамъ. На основаніи сырого матеріала, вычислены нами среднія высоты воды по футштоку. Окончательные результаты даны въ слѣдующей табличкѣ, въ которой показано, на сколько среднія мѣсячныя выше (+) или ниже (—) годового средняго уровня:

январь . . .	—3.4 дюйма	мартъ	—0.6 дюйма
февраль . . .	—2.5 »	апрѣль. . . .	+2.0 »

Digitized by Google

май	+4.7 дюйма	сентябрь . . .	—0.7 дюйма
іюнь	+3.7 »	октябрь . . .	—1.6 »
іюль.	+1.7 »	ноябрь. . . .	—1.6 »
августъ . . .	+0.3 »	декабрь . . .	—1.9 »

Какъ видно, съ февраля уровень, въ среднемъ, постепенно повышается, въ маѣ достигаетъ максимума и вновь начинаетъ падать до минимума въ январѣ. Амплитуда колебаній равна 8.1 дюйма.

Хотя предѣлы, въ которыхъ совершаются колебанія мѣсячныхъ среднихъ, не превышаютъ въ Одессѣ 8.1 дюйма, но абсолютныя величины колебаній, въ отдѣльныхъ случаяхъ, бываютъ велики.

Вообще, береговой уровень можетъ колебаться вблизи Воронцовскаго маяка въ предѣлахъ 4 футовъ 10.9 дюйма. Въ другихъ пунктахъ Черноморскаго побережья абсолютныя амплитуды колебаній имѣютъ слѣдующія значенія:

Днѣстровскій знакъ	3 фута	10.0 дюйма
Очаковъ.	3 »	7.0 »
Николаевъ	3 »	7.1 »
Тарханкутъ	2 »	4.2 »
Севастополь	2 »	7.7 »
Ялта	2 »	0.1 »
Керчь	2 »	11.9 »
Геническъ	7 »	5.2 »
Таганрогъ	16 »	3.7 »
Новороссійскъ	3 »	7.0 »
Поти	3 »	5.8 »
Батумъ	4 »	0.9 »

Амплитуды абсолютныхъ колебаній больше въ зимніе мѣсяцы и меньше въ лѣтніе.

Средній *годовой* уровень береговой полосы Чернаго моря не остается постояннымъ; отъ одного года къ другому, онъ претерпѣваетъ небольшія колебанія; колебанія эти во всѣхъ пунктахъ Черноморскаго побережья, такъ сказать, созвучны между собою, и кривыя, выражающія эти колебанія, параллельны.

Digitized by Google

Созвучіе колебаній замѣтно даже на столь отдаленныхъ другъ отъ друга станціяхъ, какъ Одесса, Ялта и Поти.

При нивеллировкахъ весьма важно знать высоту средняго уровня моря, къ которому бы можно было относить всѣ измѣренія. Наблюденія даютъ возможность сдѣлать эти опредѣленія относительно постоянной марки. Оказалось, что въ Одессѣ *средній* уровень моря въ береговой полосѣ лежитъ на 2 фута 8.4 дюйма ниже нуля футштока Воронцовскаго маяка и на 7 футовъ 2.4 дюйма ниже постоянной береговой марки, высѣченной на каменной стѣнѣ карантиннаго мола.

Детальное изученіе многолѣтнихъ наблюденій приводитъ къ тому заключенію, что колебанія берегового уровня обусловливаются, главнымъ образомъ, распредѣленіемъ давленія и господствующими вѣтрами. Береговой уровень уподобляется барометру, отражающему своими колебаніями измѣненія, происходящія въ давленіи воздуха. Давленіе, возрастающее отъ сѣвера къ югу, очевидно, будетъ способствовать повышенію уровня у сѣверныхъ береговъ; обратное распредѣленіе давленія вызоветъ пониженіе уровня у нашихъ береговъ. Воздушныя теченія, въ свою очередь, могутъ нагонять воду къ берегу или уносить ее въ открытое море. Сочетаніемъ этихъ двухъ факторовъ можно объяснить всѣ детали въ колебаніяхъ берегового уровня водъ Чернаго моря [1]). Быстрая смѣна вѣтра, въ связи съ быстрымъ измѣненіемъ давленія, могутъ отразиться значительнымъ колебаніемъ уровня. Доказательствомъ могутъ служить колебанія уровня во время прохожденія циклона, сопровождающагося, вообще, подобной смѣной метеорологическихъ факторовъ.

Температура *поверхностныхъ* водъ измѣняется въ весьма широкихъ предѣлахъ, въ зависимости отъ атмосферныхъ условій. Въ зимніе мѣсяцы она понижается посреди открытаго моря до 5—6°, а у береговъ до 0°; въ лѣтніе же мѣсяцы поверхностныя воды у береговъ достигаютъ 24° — 25°, а въ открытомъ морѣ до 22°.

Среднія мѣсячныя температуры моря вблизи Воронцовскаго маяка выражаются слѣдующими числами:

---

[1]) См. Клоссовскій. Колебанія уровня и температуры въ береговой полосѣ Чернаго и Азовскаго морей. Спб. 1890.

Digitized by Google

январь	1°.2	іюль	20°.5
февраль	1.1	августъ	19.4
мартъ	3.5	сентябрь	17.0
апрѣль	10.1	октябрь	12.3
май	16.5	ноябрь	7.4
іюнь	19.7	декабрь	3.4
	годъ . . .	11°.0	

Отъ поверхности вглубь температура въ лѣтніе мѣсяцы, вообще, понижается. Тамъ, гдѣ дно мельче 30 саж., пониженіе идетъ до самаго дна; въ остальныхъ мѣстахъ пониженіе наблюдается только до глубины 30—35 саж., гдѣ, въ среднемъ, достигаетъ около 7°. Ниже 30—35-саженнаго слоя температура повышается и, достигнувъ 9° (на глубинѣ около 200 саж.), остается почти постоянной до самаго дна. Въ 1891 году найдено, что въ маѣ минимумъ температуры находился на глубинѣ 30 саженъ, въ августѣ глубже. Температура этого минимальнаго слоя въ августѣ была выше, чѣмъ въ маѣ. Въ слѣдующей таблицѣ приведено среднее распредѣленіе температуры въ открытомъ морѣ на различныхъ глубинахъ:

	май	августъ		май	августъ
0 саж.	16°.1	24°.1	40 саж.	7°.4	7°.1
5 »	13.7	22.5	45 »	8.1	7.1
10 »	11.6	19.1	50 »	8 3	7.1
15 »	9.6	13.2	60 »	8.4	7.2
20 »	8.1	11.1	70 »	8.5	7.6
25 »	7.5	8.6	80 »	8.6	8.2
30 »	6.9	7.3	90 »	8.7	8.5
35 »	7.2	7.1	100 »	8.8	8.7

Годовыя перемѣны температуры, повидимому, не проникаютъ глубже 100 саженъ.

Въ Азовскомъ морѣ весь слой отъ поверхности до дна, въ лѣтніе мѣсяцы, мало разнится по температурѣ и солености.

Указанный нами общій ходъ измѣненія температуры съ глубиною претерпѣваетъ тѣ или другія модификаціи, въ зависимости отъ мѣстныхъ условій. Особенно велики эти модификаціи вблизи Босфора, черезъ который вливаются болѣе теплыя и болѣе соленыя воды Средиземнаго моря. Такъ, въ разстояніи

Digitized by Google

4 миль отъ входныхъ маяковъ Босфора, прямо противъ входа въ проливъ, найдена, на глубинѣ около 40 саженъ, температура 11° и соленость 3.4%.

Прибрежнымъ жителямъ хорошо извѣстны тѣ рѣзкія колебанія, которымъ подвергается температура въ береговой полосѣ. Нерѣдки случаи, когда, въ лѣтніе мѣсяцы, температура въ береговой полосѣ понижается на 7° и 8° въ сутки. Привожу нѣсколько примѣровъ изъ моихъ наблюденій, произведенныхъ въ 1886 году въ колоніи Люстдорфъ.

	температура воды	температура воздуха
30 іюня. . . .	20°.4	19°.8
1 іюля. . . .	16.0	22.2
2 » . . .	12 6	17.3
24 іюня. . . .	22 6	18.8
25 »	16.2	16.1
29 іюля. . . .	20.4	30.7
30 » . . .	14.7	23.4.

9 августа въ 12 ч. дня термометръ показывалъ 18.0°, а въ 6 часовъ вечера 13.0°, т. е. на 5° ниже.

20 іюля въ 12 час. дня температура воды 21°.1
» » » 5 » веч. » » 18.1
» » » 6 » » » » 17.5,

т. е. пониженіе равнялось 0°.6 въ часъ.

Можно привести примѣры столь же быстрыхъ повышеній температуры, напр.,

	температура воды	температура воздуха
15 іюня въ полдень. .	11°.2	22°.6
16 » » » . .	21.2	22.7,

т. е. температура воды въ сутки повысилась на 10°.

	температура воды	температура воздуха
29 іюля въ 8 ч. утра	17°.4	23°.9
» » » 12 » дня	22.5	30.7
3 авг. » 8 » утра	16.4	19.6
» » » 12 » дня	18.8	25.0
» » » 6 » вечера . . .	21.4	23.2

Digitized by Google

Интересно изслѣдовать тѣ условія, при которыхъ происходятъ подобные рѣзкіе скачки въ температурѣ береговой полосы. Очевидно, что на эти колебанія вліяетъ не температура воздуха, ибо пониженія въ морѣ обыкновенно предшествуютъ на сутки и болѣе пониженіямъ въ воздухѣ (весь іюль) или происходятъ даже во время жаркой погоды, напр. отъ 10 до 14 августа; кромѣ того, вслѣдствіе значительной своей теплоемкости, вода не можетъ такъ быстро слѣдовать за измѣненіями температуры воздуха. Источникъ холода слѣдуетъ искать въ глубинахъ, въ которыхъ въ лѣтнее время господствуютъ температуры около 8^0-10^0. Слѣдовательно, всѣ обстоятельства, способствующія выступленію холодной воды, будутъ, вмѣстѣ съ тѣмъ, искомыми нашими факторами. Такъ какъ съ глубиною плотность возрастаетъ, то выступающую холодную воду всегда можно будетъ узнать по увеличенію плотности, приведенной къ опредѣленной температурѣ.

Повидимому, существуетъ нѣсколько причинъ, которыми обусловливаются быстрыя пониженія температуры у нашихъ береговъ, а именно:

1) сильные юго-западные и южные вѣтры, производящіе значительное волненіе и перемѣшивающіе верхніе, болѣе теплые, и нижніе, болѣе холодные, слои, должны сильно понижать температуру водъ; степень пониженія зависитъ отъ глубины дна, прилегающаго къ береговой полосѣ; вліяніе этого фактора должно обнаружиться особенно сильно на южныхъ берегахъ Крыма, гдѣ значительныя глубины подступаютъ къ берегу. Подобнымъ перемѣшиваніемъ объясняется быстрое пониженіе температуры воды 2 іюля. Съ 1-го іюля, подъ вліяніемъ циклона, находившагося въ Венгріи, въ Одессѣ задули сильные ЮВ, Ю и ЮЗ вѣтры, которые къ 9 часамъ вечера 2-го іюля перешли къ ССЗ; образовался сильный прибой и температура понизилась:

1-го іюля до $16^0.0$
2 » » 12.6.

Подъ вліяніемъ юго-западныхъ вѣтровъ, достигшихъ, въ открытомъ морѣ, значительной силы, произошло также пониженіе температуры 13 и 14 августа до $13^0.8$. Плотность при этомъ увеличилась до 1.0124—1.0131.

2) Еще болѣе значительное пониженіе возможно при вѣт-

Digitized by Google

рахъ между сѣверомъ и западомъ, перпендикулярныхъ къ общей линіи берега. Сѣверо-западные вѣтры сдуваютъ, такъ сказать, верхнюю нагрѣтую пленку воды и уносятъ ее въ открытое море, а взамѣнъ ея выступаетъ холодная вода глубинъ. Всѣ наиболѣе значительныя пониженія температуры происходили при этихъ, именно, вѣтрахъ; напр., температура понизилась:

въ іюнѣ	17-го	до 13.0°	при	NW_3
» »	25	» 13.0°	»	WNW и W_3
» »	11	» 13.3°	»	WNW_1
» »	21	» 16.6°	»	NNW_3
» »	30	» 12.5°	»	NW_5
» августѣ	10	» 12.0°	»	WNW и W_3
» »	30	» 17.5°	»	NW_3, NNW_4, N_4.

Особенно разительный примѣръ можно было наблюдать 20-го іюля; температура воды, какъ мы сказали, была

въ полдень	21°.1
» 5 ч. в.	18.1
» 6 ч. в.	17.5

т. е. пониженіе равнялось 0°.6 въ часъ; при этомъ дулъ сильный сѣверо-западный вѣтеръ, быстро сдувавшій въ открытое море верхніе слои воды; предметы, брошенные на поверхность воды, быстро уносились въ открытое море. Подобное же явленіе можно было наблюдать 9 и 10 августа; подъ вліяніемъ быстраго теченія отъ берега, температура понизилась на 5°.0 въ промежутокъ времени отъ 12 ч. пополудни до 6 ч. вечера, а плотность возрасла отъ 1.0122 до 1.0130. 20 іюля при $СЗ_3$ вѣтрѣ плотность была слѣдующая:

въ полдень	21°.1	1.0103
» 6 ч. вечера	17.5	1.0114

30 іюля при $СЗ_4$:

въ 8 ч. утра	17°.8
» 6 ч. вечера	14°.7,

а наканунѣ, въ полдень, термометръ показывалъ 22.5° С.

3) Третье обстоятельство, понижающее температуру, заключается въ направленіи установившагося теченія. Нужно за-

Digitized by Google

мѣтить, что въ водѣ очень быстро устанавливается теченіе, совпадающее по направленію съ преобладающимъ направленіемъ вѣтра; если подобное теченіе захватываетъ значительное пространство, то съ лѣвой стороны его (ставъ лицомъ по направленію теченія) выступаетъ болѣе холодная вода; съ правой стороны, слой воды, имѣющій извѣстную температуру, лежитъ гораздо глубже, чѣмъ съ лѣвой; справедливость этого можно видѣть, въ большомъ видѣ, въ Гольфштремѣ; именно, въ нижнихъ частяхъ Гольфштрема изотерма 10° съ лѣвой стороны лежитъ на глубинѣ 240 метровъ, а съ правой на глубинѣ 416 метровъ. То же явленіе можно видѣть въ теченіяхъ, которыя получаютъ импульсы отъ вѣтровъ; напримѣръ, въ южной части Балтійскаго моря температура въ теченіе 24 часовъ, при восточномъ вѣтрѣ, падаетъ отъ 19° до 6°; въ разстояніи же 36 миль отъ берега, въ то же время встрѣчаемъ на поверхности 18°, а изотерма 6° скрывается на 70 метровъ. Въ Гвинейскомъ заливѣ температура у берега 19°—40°, а въ открытомъ морѣ 25°.5—26°.5. Подобное же явленіе наблюдается и у насъ; напр., 12 августа существовало сильное теченіе съ юга; температура понизилась:

въ полдень	до	15°.5
» 6 ч. вечера	»	13.5,

въ то же время плотность увеличилась

въ полдень	до	1.0129
» 6 ч. вечера	»	1.0125;

25 іюля въ полдень температура была 22°.6 C; около полудня замѣчено было сильное теченіе отъ юга, которое поддерживалось до 28 іюля; температуры были слѣдующія:

	12 ч. дня	6 ч. вечера
25 іюля	22°.6	18°.1
26 »	20.9	20.6
27 »	19.4	17.5

Плотности	12 ч. дня	6 ч. вечера
25 іюля	1.0105	1.0118
26 »	1.0115	1.0116
27 »	1.0123	1.0123.

Digitized by Google

5-го августа, послѣ полудня, замѣчено сильное теченіе съ юга:

	температура			плотность		
	8 ч. ут.	12 ч. д.	6 ч. веч.	8 ч. ут.	12 ч. д.	6 ч. веч.
4 августа	—	23.0	21.8	—	1.0116	1.0116
5 »	20.4	21.0	18.6	1.0120	1.0124	1.0124.

Особенно низкія температуры наблюдаются тогда, когда, при сильномъ волненіи, существуетъ теченіе отъ юга; совпаденіе подобныхъ условій и было причиной сильнаго пониженія между 10 и 14 августа (до 10°.8 R=13°.5 C) Обратно, при теченіи отъ сѣвера, одесскій берегъ находится съ правой стороны и тогда температура повышается; напр., 6 августа при сѣверномъ теченіи:

	температура			плотность		
	8 ч. ут.	12 ч. д.	6 ч. веч.	8 ч. ут.	12 ч. д.	6 ч. веч.
6 августа	18°.6	20.4	21.6	1.0122	1.0107	1.0097
29 »	22.5	23.1	22.5	1.0091	1.0099	1.0100
30 »	21.0	21.9	21.9	1.0103	1.0104	1.0104

Условіями, наиболѣе благопріятными для повышенія температуры, можно считать высокое стояніе барометра и слабые или умѣренные восточные и юго-восточные вѣтры, нагоняющіе къ берегу теплую поверхностную воду. Подобныя условія имѣютъ мѣсто тогда, когда надъ Чернымъ моремъ господствуетъ обширная область высокаго давленія. Преобладаніемъ восточныхъ теченій объясняются высокія температуры въ 5 и 6 пентады августа (при слабой плотности), а также быстрое повышеніе 16 іюня (отъ 11°.2 до 21°.2), поднятіе температуры 5 и 9 іюля, 4 августа и др.

Среднее содержаніе солей, по Шпиндлеру, выражается слѣдующими числами:

глубина	май	августъ	глубина	май	августъ
0	1.81%	1.81%	20	—	—
5	1.82	1.82	25	1.85	1.85
10	1.82	1.82	50	1.99	1.94
15	1.82	1.82	100	2.11	2.11

Digitized by Google

По анализамъ проф. Коновалова, содержаніе солей въ пробахъ, взятыхъ въ 1890 году въ открытомъ морѣ, было слѣдующее:

глубины	50 саж.	100	240	515	900	1100
по анализу. . .	1.8308%	2.0594	2.2117	2.2198	2.1740	2.2231
сухой остатокъ .	1.8262	2.0726	2.1909	2.2175	2.1758	2.2226

Въ береговой полосѣ вблизи Одессы содержаніе соли меньше, вслѣдствіе прихода рѣчныхъ водъ. Съ глубиною общее содержаніе соли повышается. Это же видно изъ чиселъ, найденныхъ А. А. Лебединцевымъ для содержанія хлора. Чисто морскіе пункты въ поверхностныхъ слояхъ содержатъ хлора около 11 граммовъ на литръ. Максимальное содержаніе хлора найдено на глубинѣ 1185 саженъ и составляетъ 12.8 грамма.

По общему содержанію солей Черное море уступаетъ океанамъ и нѣкоторымъ внутреннимъ морямъ, но богаче солями, чѣмъ сѣверная часть Балтійскаго, гдѣ процентное содержаніе соли не превышаетъ 0.25%; но оно близко къ юго-западной части, гдѣ соленость равна 2%.

Въ составѣ солей первое мѣсто принадлежитъ поваренной соли, затѣмъ идутъ хлористый магній, сѣрно-кислый магній, сѣрно-кислый кальцій, углекислый кальцій и т. д. Подобный порядокъ въ содержаніи солей, по ихъ относительному количеству, съ глубиною остается безъ измѣненія. Въ такомъ же порядкѣ распредѣлены соли въ океанической водѣ. Такъ, на основаніи анализа проф. Коновалова, одной изъ пробъ, взятой на глубинѣ 50 саж., содержаніе солей слѣдующее:

$NaCl$ . . .	1.4198%	$MgBr_2$ . . .	0.0038%
KCl . . .	0.0385	$MgSO_4$ . . .	0.1299
$MgCl_2$ . . .	0.1631	$CaSO_4$ . . .	0.0469
		$CaCO_3$ . . .	0.0288.

Параллельно съ соленостью измѣняется также плотность водъ Чернаго моря. Абсолютная плотность на поверхности, въ средней части водоема, равна 1.01338; она уменьшается къ берегамъ и особенно быстро къ устью Дуная. Съ глубиною плотность возрастаетъ и на днѣ равна 1.0173. Вблизи Босфора, на глубинѣ 60 саж., она равна 1.0204.

Особенность Чернаго моря, изслѣдованная экспедиціями 1890—1891 годовъ, заключается въ зараженіи водъ сѣроводо-

Digitized by Google

родомъ. Фактъ этотъ былъ открытъ, съ качественной стороны, еще во время экспедиціи 1890 года. Съ количественной стороны свойство это изслѣдовано въ слѣдующемъ году А. А. Лебединцевымъ. Повидимому, зона зараженія, доступнаго нашимъ химическимъ реакціямъ, начинается между 100 и 125 саж. Со 100-саженной глубины начинается также быстрое убываніе животной жизни. Раньше мы видѣли, что, въ среднемъ выводѣ, 100-саженная глубина составляетъ предѣльную линію циркуляціи водъ въ Черноморской котловинѣ; эта же глубина, приблизительно, составляетъ также предѣлъ распространенія организмовъ и, вмѣстѣ съ тѣмъ, предѣлъ водъ, свободныхъ отъ сѣроводороднаго газа. Количество сѣроводорода съ глубиною возрастаетъ, хотя не вездѣ равномѣрно; максимальное количество сѣроводорода, какъ видно изъ предварительнаго отчета А. А. Лебединцева, найдено на глубинѣ 1159 саженъ (φ=43°36′, λ=3°8′ E отъ Пулк.) и равно 0.0005078 грамма или 6.55 куб. сантиметра газа въ литрѣ воды при температурѣ, какую она имѣла въ моментъ анализа, т. е. около 10°.5.

Количество органическихъ веществъ измѣняется отъ 4.7 до 2 миллиграммовъ, а общее количество растворенныхъ газовъ отъ 10.75 до 17.75 куб. сант. въ литрѣ воды при 0° и 760 мм. давленія.

Литературныя указанія. Пособіями могутъ служить работы, указанныя въ главѣ III, особенно:

1) Шпиндлеръ. Лекціи Физической Географіи. Спб. 1903. и Otto Krümmel. Handbuch der Oceanographie. Band. I. Stuttgart. 1907.

2) * Wissenschaftliche Ergebnisse der Deutschen Tiefsee-Expedition auf dem Dampfer «Valdivia» 1898 — 1899, herausgegeben von Carl Chun. Jena. 1901. Text und Atlas.

3) * Die Stella Polare im Eismeer. Erste italienische Nordpolexpedition 1899—1900 von Ludwig Amadeus von Savoyen. Leipzig. 1903.

4) * Die Deutsche Südpolar-Expedition auf dem Schiff «Gauss» unter Leitung von Erich von Drygalski. Berlin. 1903.

5) * Veröffentlichungen des Instituts für Meereskunde und des Geographischen Instituts, herausg. von Ferdinand von Richthofen. Berlin.

Digitized by Google

X.

Тепловое состояніе нижнихъ слоевъ земной атмосферы.

Связь между температурой земной поверхности и температурой нижнихъ слоевъ земной атмосферы. Тепловое воздѣйствіе земной поверхности на выше лежащіе слои воздуха. Методы опредѣленія температуры воздуха въ нижнихъ слояхъ земной атмосферы. Самопишущіе приборы и ихъ разработка. Принципъ непрерывности. Суточныя колебанія температуры. Годовыя колебанія. Кривая годового хода и возвраты тепла и холода. Географическое распредѣленіе тепла въ нижнихъ слояхъ земной атмосферы. Термометрическій градіентъ и его опредѣленіе. Полюсъ холода. Карты изонормалей. Карты Hildebrandsson'a. Литературныя указанія.

Связь между температурой земной поверхности и температурой нижнихъ слоевъ земной атмосферы. Между температурой твердой и жидкой оболочки земли, съ одной стороны, и температурой воздуха, съ другой, существуетъ тѣсная связь. Эту связь можно видѣть изъ сравненія средней температуры воздуха и температуры земной поверхности, какъ въ суточномъ такъ и годовомъ ходѣ. Приведемъ для примѣра средній суточный ходъ температуры почвы и воздуха, перевычисленный нами на основаніи 7-лѣтнихъ наблюденій въ Тифлисѣ (1884—1890 гг.), для января и іюля:

А) ЯНВАРЬ

часы	температура почвы	температура воздуха	разность
1	−2°.6	−2°.3	−0°.3
2	−2.7	−2.5	−0.2
3	−2.9	−2.6	−0.3
4	−3.0	−2.8	−0.2
5	−3.1	−2.9	−0.2
6	−3.2	−3.0	−0.2
7	−3.4	−3.0	−0.4
8	−3.0	−2.8	−0.2
9	−0.5	−1.8	+1.3
10	2.1	−0.7	+2.8
11	4.6	0.4	+4.2
полдень	6.3	1.2	+5.1

часы	температура почвы	температура воздуха	разность
1	7°.2	1°.9	+5°.3
2	6.7	2.2	+4.5
3	5.2	2.2	+3.0
4	2.4	1.7	+0.7
5	0.2	0.6	−0.4
6	−0.6	−0.2	−0.4
7	−1.1	−0.7	−0.4
8	−1.5	−1.1	−0.4
9	−1.8	−1.4	−0.4
10	−2.1	−1.8	−0.3
11	−2.3	−1.9	−0.4
полночь	−2.5	−2.2	−0.3
среднее	−0.1	−1.0	+0.9

Digitized by Google

B) июль

	температура				температура		
часы	почвы	воздуха	разность	часы	почвы	воздуха	разность
1	20°.7	20°.4	+0.3	1	48°.1	28°.1	+20°.0
2	20.2	19.6	+0.6	2	47.3	28.5	+18.8
3	19.6	19.2	+0.4	3	45.8	28.9	+16.9
4	19.1	18.7	+0.4	4	42.5	28.8	+13.7
5	18.8	18.4	+0.4	5	38.2	28.4	+9.8
6	20.1	19.3	+0.8	6	32.8	27.5	+5.3
7	25.5	20.7	+4.8	7	28.5	25.9	+2.6
8	30.6	22.3	+8.3	8	25.7	24.2	+1.5
9	35.7	23.8	+11.9	9	24.2	23.0	+1.2
10	40.8	25.3	+15.5	10	23.1	22.2	+0.9
11	44.8	26.4	+18.4	11	22.2	21.3	+0.9
полдень	47.0	27.3	+19.7	полночь	21.4	20.7	+0.7
				среднее	31.0	23.7	+7.3

Слѣдующія числа представляютъ ежечасный ходъ температуры почвы и воздуха въ Одессѣ отъ 5 часовъ утра 22 іюля 1905 года до 4 часовъ утра слѣдующаго дня:

	температура				температура		
часы	почвы	воздуха	разность	часы	почвы	воздуха	разность
5	15°.3	16.6	—1.3	5	32.8	23.4	+9.4
6	15.9	18.6	—2.7	6	29.1	22.9	+6.2
7	23.3	20.4	+2.9	7	29.0	22.5	+6.5
8	32.4	20.8	+11.6	8	21.2	21.8	—0.6
9	38.1	20.4	+17.7	9	19.9	20.7	—0.8
10	44.7	21.8	+22.9	10	18.5	20.2	—1.7
11	52.3	22.4	+29.9	11	17.4	19.2	—1.8
полдень	47.0	23.1	+23.9	полночь	16.1	19.6	—3.5
1	57.0	23.2	+33.8	1	17.1	19.9	—2.8
2	55.2	22.3	+22.9	2	16.4	18.9	—2.5
3	48.7	23.1	+25.6	3	15.7	17.9	—2.2
4	34.2	23.0	+11.2	4	15.7	18.2	—2.5

Digitized by Google

Приводимъ, наконецъ, разность между температурой оголенной почвы и температурой воздуха въ Екатеринбургѣ (1905 годъ):

часы	январь	іюль	часы	январь	іюль
1	—0°.79	+0°.60	1	+0°.83	+9°.52
2	—0.74	+0.50	2	+0.29	+9.51
3	—0.83	+0.45	3	—0.43	+8.06
4	—0.74	+0.52	4	—0.98	+6.51
5	—0.67	+0.58	5	—0.90	+4.71
6	—0.55	+0.46	6	—1.08	+3.16
7	—0.60	+1.00	7	—0.92	+1.40
8	—0.68	+5.08	8	—0.80	+0.35
9	—0.44	+7.19	9	—0.85	+0.23
10	+0.30	+7.72	10	—0.76	+0.33
11	+0.92	+8.25	11	—0.71	+0.38
полдень	+0.87	+9.74	полночь	—0.71	+0.61.

Изъ приведенныхъ таблицъ видно, что въ *ночные* часы температура почвы ниже температуры воздуха или близка къ ней. Въ *дневные* часы, температура почвы, во всѣ мѣсяцы года, значительно выше температуры воздуха (особенно лѣтомъ). Минимумы температуры, какъ на поверхности почвы такъ и въ воздухѣ, наступаютъ одновременно. Максимумъ же въ воздухѣ запаздываетъ на 2—3 часа. Разность между температурой почвы и воздуха въ теплыхъ климатахъ можетъ быть весьма велика, (въ Одессѣ до 35°—40°). Въ лѣсу и при растительномъ покровѣ эта разница меньше. Еще меньше разность между температурой *водной* поверхности и воздуха; такъ, въ экваторіальной части Атлантическаго океана (0°—10° с. ш.), разница между температурой воды и температурой воздуха слѣдующая:

полночь. .	0°.83	8 час. . .	0°.54	4 час. . .	0°.34
2 час. . .	1.01	10 » . .	0.29	6 » . .	0.55
4 » . .	0.98	полдень . .	0.11	8 » . .	0.76
6 » . .	0.87	2 час. . .	0.14	10 » . .	0.75

Поверхность воды, какъ видно, въ теченіе всего дня теплѣе, чѣмъ воздухъ. Максимумъ на поверхности воды —въ 2 часа,

Digitized by Google

а въ воздухѣ—въ 12—2 пополудни. Амплитуда колебаній въ водѣ 0°.7, а въ воздухѣ 1°.5. Интересны слѣдующія числа, приводимыя Hann'омъ, для температуры воды и воздуха въ Атлантическомъ океанѣ подъ 30° с. ш.[1]).

	пополуночи					
часы	1	3	5	7	9	11
вода . . .	19°.8	19.7	19.8	19.8	20.0	20.1
воздухъ . .	18.9	18.9	19.0	19.2	19.6	20.2
	вода—воздухъ					
разность .	0°.9	0.8	0.8	0.6	0.4	—0.1

	пополудни						
часы	1	3	5	7	9	11	среди.
вода . . .	20°.1	20.2	20.1	20.0	19.9	19.8	19.95
воздухъ . .	20.6	20.6	20.3	19.7	19.3	19.0	19.61
	вода—воздухъ						
разность .	—0.5	—0.4	—0.2	0.3	0.6	0.8	0.34.

Изъ чиселъ этихъ видно, что температура воздуха почти не зависитъ отъ температуры воды; ночью воздухъ можетъ вовсе не отдавать тепла водѣ; въ полдень разница также невелика. Суточный ходъ температуры воздуха надъ океаномъ обусловливается, главнымъ образомъ, прямымъ поглощеніемъ солнечной радіаціи и лучеиспусканіемъ къ небесному своду; вслѣдствіе этого, колебанія должны быть весьма невелики. По изслѣдованіямъ Рыкачева, амплитуда суточнаго хода воздуха надъ тропическими океанами не превышаетъ 1°.6, и максимумъ наступаетъ въ $12^1/_2$ часовъ пополудни. Какъ между тропиками, такъ и внѣ, максимумъ въ воздухѣ наступаетъ на $1—1^1/_2$ часа раньше максимума въ водѣ.

Подобное же соотношеніе между температурой поверхности почвы и температурой воздуха существуетъ и въ *годовомъ* ходѣ, какъ это видно изъ нижеслѣдующихъ среднихъ чиселъ, найденныхъ для Одессы, Тифлиса и Иркутска:

---

[1]) Hann. Lehrbuch der Meteorologie. 1905. S. 56.

Digitized by Google

	Одесса			Тифлисъ			Иркутскъ	Екатеринбургъ
	почва	воздухъ	разн.	почва	воздухъ	разн.	почва—воздухъ	
январь .	—0°.9	—1°.9	+1°.0	—0°.5	—1°.6	+1°.1	—0°.7	—0°.46
февраль .	1.2	—0.3	+1.5	4.1	3.0	+1.1	—0.6	+0.62
мартъ. .	4.8	2.1	+2.7	10.7	8.0	+2.7	+0.5	+1.96
апрѣль .	13.0	8.1	+4.9	17.9	12.7	+5.2	+4.2	+3.26
май . .	22.7	15.0	+7.7	22.6	17.3	+5.3	+9.0	+2.76
іюнь . .	28.0	19.6	+8.4	27.1	20.6	+6.5	+11.8	+4.03
іюль . .	31.0	22.3	+8.7	32.2	24.3	+7.9	+12.4	+4.62
августъ .	29.5	22.1	+7.4	32.1	24.1	+8.0	+6.3	+2.77
сентябрь.	21.9	16.8	+5.1	24 9	19.8	+5.1	+2.6	+1.94
октябрь .	14.4	12.0	+2.4	17.2	14.2	+3.0	—1.6	+0.02
ноябрь .	4.7	4.0	+0.7	7.7	6.7	+1.0	—2.1	+0.09
декабрь .	0.1	—0.5	+0.6	2.1	1.5	+0.6	—1.1	+0.33
годъ . .	14.3	10.0	+4.3	16.5	12.6	+3.9	—3.4	+1.73
амплитуда	31.9	24.2	—	32.7	25.9	—	—	—

Въ высшихъ широтахъ поверхность почвы покрыта снѣгомъ, который сильно охлаждается вслѣдствіе лученспусканія и дѣйствуетъ охлаждающимъ образомъ на нижніе слои воздуха. Въ болѣе низкихъ широтахъ, во всѣ мѣсяцы года, температура почвы выше, особенно въ лѣтніе мѣсяцы. На основаніи наблюденій, можно установить слѣдующія положенія: 1) сухая почва производитъ сильнѣйшее дѣйствіе на температуру нижнихъ слоевъ воздуха въ суточномъ ходѣ и болѣе слабое — въ годовомъ періодѣ; 2) жидкая поверхность земли, въ *суточномъ* періодѣ, имѣетъ слабое вліяніе; но весьма значительно ея дѣйствіе въ *годовомъ* ходѣ въ періодѣ паденія температуры.

Тепловое воздѣйствіе земной поверхности на выше лежащіе слои атмосферы. При разсмотрѣніи этого вопроса, будемъ различать два состоянія почвы: состояніе охлажденія и состояніе нагрѣванія. Состояніе *охлажденія*, въ ночные часы и въ зимніе мѣсяцы, передается вверхъ путемъ теплопроводности и путемъ лученспусканія къ охлажденной почвѣ и къ междупланетному пространству, особенно первымъ. Охлажденіе путемъ теплопроводности происходитъ медленно, а поэтому, дѣйствіе это можетъ ограничиться слоемъ воздуха весьма малой мощности. Нетрудно даже вычислить приблизительно, на какую вы-

Digitized by Google

соту (p) охлажденіе почвы можетъ распространиться вверхъ въ теченіе извѣстнаго періода времени t:

$$p=2\sqrt{\pi kt},\ \text{гдѣ}\ k=0.173.$$

Если t равно длинѣ зимней ночи (16 час.=57600 секундъ), то $p=3.54$ метра. Въ лѣтнюю 8-мичасовую ночь, $p=2.5$ метра. Для полярной 3-мѣсячной ночи $p=41$ метр. Слѣдовательно, *холодная* поверхность земли дѣйствуетъ, главнымъ образомъ, вызывая лучеиспусканіе къ почвѣ. Но оба эти фактора, теплопроводность и лучеиспусканіе, должны, очевидно, вызывать одно и то же слѣдствіе: температура съ высотою должна *повышаться*.

Разсмотримъ затѣмъ состояніе *нагрѣванія* почвы при дневной инсоляціи въ лѣтнее время. Нижніе слои воздуха нагрѣваются прикосновеніемъ къ почвѣ, т. е. путемъ теплопроводности, а также, въ болѣе слабой степени, лучеиспусканіемъ почвы. Частицы нижняго слоя дѣлаются легче выше лежащихъ и восходятъ; болѣе холодныя падаютъ внизъ, нагрѣваются и, въ свою очередь, начинаютъ восходить. Нетрудно показать, что нижніе слои дѣлаются легче слоевъ, выше лежащихъ, когда температура падаетъ по 0.03° на 1 метръ поднятія [1]). Въ обсерваторіи Новороссійскаго университета проф. Воейковъ, 28 августа 1895 года, нашелъ, при помощи аспираціоннаго прибора Assmann'a, слѣдующія температуры:

на поверхности почвы. .	50°.4
» высотѣ 20 сант. . .	32.2
» » 54 » . .	30.0
» » 300 » . .	28.9.

Но подобное быстрое паденіе температуры съ высотою возможно, почти исключительно, лишь въ самыхъ нижнихъ слояхъ атмосферы. Да оно и не составляетъ условія, необходимаго для образованія восходящихъ теченій. Восходящія теченія, въ широкомъ смыслѣ этого слова, образуются тогда, когда въ атмосферѣ нарушается то распредѣленіе температуры по верти-

[1]) См. Reye. Die Wirbelstürme etc. Anhang. S. 210.

Digitized by Google

кальному направленію, которое требуется для сохраненія равновѣсія; а это, въ свою очередь, бываетъ тогда, когда температура падаетъ съ высотою болѣе, чѣмъ на 1° на каждые 100 метровъ вертикальнаго поднятія.[1]). Мы видѣли раньше (глава II), что если массы воздуха восходятъ, то онѣ расширяются, преодолѣваютъ внѣшнія давленія, а слѣдовательно, производятъ внѣшнюю работу. Для производства этой работы необходимо потратить извѣстный запасъ энергіи. Если восхожденіе происходитъ на столько быстро, что восходящія массы не успѣваютъ получать тепло извнѣ, и не отдаютъ его окружающему воздуху (процессъ адіабатическій), то на внѣшнюю работу тратится собственная энергія восходящей массы, вслѣдствіе чего, восходящая масса охлаждается. Было доказано (стран. 156), что восходящая масса *сухого* воздуха охлаждается на 1° на каждые 100 метровъ вертикальнаго поднятія. Въ восходящемъ потокѣ воздуха, насыщеннаго парами, уменьшеніе температуры съ высотою идетъ медленнѣе, и законъ паденія зависитъ отъ первоначальнаго давленія и первоначальной температуры восходящаго влажнаго воздуха. Подобное восхожденіе массъ воздуха имѣетъ мѣсто въ природѣ постоянно. Масса воздуха, встрѣчая горный склонъ, поднимается вдоль него и охлаждается; пары, содержащіеся въ ней, достигаютъ насыщенія и выдѣляются, образуя облака, дождь, снѣгъ. Подобное же восхожденіе большихъ массъ совершается въ большихъ циклоническихъ движеніяхъ. Такое восхожденіе имѣетъ также мѣсто надъ нагрѣтой земной поверхностью. Здѣсь этотъ процессъ имѣетъ форму восходящихъ нитей нагрѣтаго воздуха, при помощи которыхъ нагрѣваніе почвы передается вверхъ. Взамѣнъ поднявшихся нагрѣтыхъ нитей, болѣе холодныя частицы воздуха падаютъ внизъ. Поднимающіяся частицы не отдаютъ всего своего тепла въ верхніе слои; часть своего тепла онѣ теряютъ вслѣдствіе *смѣшенія* съ падающими, болѣе холодными, нитями; частью же испытываютъ *динамическое* охлажденіе на 0.01° на каждый метръ поднятія. Высота, до которой поднимаются восходящіе токи, зависитъ отъ первоначальнаго избытка температуры надъ температурой окружающаго воздуха, а также отъ закона, по которому убываетъ температура въ слояхъ воздуха. Напримѣръ, если воздухъ, под-

[1]) Ib. S. 210.

Digitized by Google

нявшись до высоты 1000 метровъ, охладится до 10°, а температура окружающаго воздуха на этой высотѣ окажется нѣсколько ниже 10°, то восхожденіе будетъ продолжаться. Такимъ образомъ, дневное нагрѣваніе въ лѣтніе мѣсяцы распространяется, при тихой погодѣ, медленно вверхъ. Вообще же, нагрѣванія передаются отъ поверхности почвы гораздо выше, чѣмъ ночныя и зимнія охлажденія. Конечно, ходъ явленія осложняется воздушными теченіями, которыя переносятъ, вдоль земной поверхности, массы теплаго и холоднаго воздуха и способствуютъ ихъ перемѣшиванію. Такой-же, въ общемъ, характеръ имѣетъ передача годовыхъ колебаній.

На основаніи этихъ соображеній, естественно приходимъ къ слѣдующимъ выводамъ: 1) суточныя и годовыя колебанія должны передаваться вверхъ; 2) наступленіе суточнаго максимума съ высотою должно запаздывать; 3) амплитуды суточныхъ колебаній съ высотою должны убывать, сначала быстро, выше медленнѣе; 4) температура въ зимніе мѣсяцы и въ ночные часы лѣтомъ съ высотою должна, до нѣкотораго предѣла, возрастать; 5) вертикальное убываніе температуры въ дневные часы теплаго времени года должно происходить быстрѣе, чѣмъ ночью.

Обратимся къ наблюденіямъ. Прекрасный матеріалъ представляютъ наблюденія на Эйфелевой башнѣ, обработанныя Angot[1]).

Высота въ метр.	2	123	197	302	2	123	197	302
a) Зима								
	температура				время наступленія			
максимумъ . .	5°.0	4.2	3.6	2.8	2 ч. р	3 р	$3^1/_2$ р	—
минимумъ . .	0.8	1.3	1.3	1.2	$6^1/_2$ а	$7^1/_2$ а	$7^1/_2$ а	$7^1/_2$ а
разность . . .	4.2	2.9	2.3	1.6	—	—	—	—
b) Равноденствіе								
максимумъ . .	17.6	16.1	15.5	14.9	2 ч. р	3 р	$3^1/_2$ р	—
минимумъ . .	8.1	9.4	9.5	9.8	5 а	$5^1/_2$ а	$5^3/_4$ а	6 а
разность . . .	9.5	6.7	6.0	5.1	—	—	—	—

[1]) Буквой *a* отмѣчены часы отъ полуночи до полудня,
» *p* » » » полудня до полуночи.

Digitized by Google

c) Лѣто.

максимумъ . .	21.7	20.1	19.4	18.5	2 ч. р	$3^1/_2$ р	$3^3/_4$ h р	—
минимумъ . .	12.6	13.7	13.7	13.5	$4^1/_2$ а	$4^1/_2$ а	$5^1/_2$ а	—
разность. . .	9.1	6.4	5.7	5.0	—	—	—	—

На основаніи этихъ чиселъ Angot заключаетъ, что амплитуда, въ болѣе высокихъ слояхъ, должна имѣть слѣдующія значенія:

зимою на высотѣ 750 м. . . . $0^0.4$
лѣтомъ » » 1150 » . . . 0.9.

Уменьшеніе амплитуды можно выразить формулой:

$$log A_h = log A_0 - bh.$$

Изъ наблюденій на Эйфелевой башнѣ, найдено:

для зимы $b=0.0013$
» весны $b=0.0011$
» лѣта $b=0.0009$.

Наблюденія, помощью змѣевъ, на Blue Hill дали:

$b=0.0016$.

Постепенное распространеніе опредѣленной температуры можно видѣть на Эйфелевой башнѣ изъ слѣдующаго. Въ декабрѣ и январѣ температура 2^0 наступаетъ въ различные часы дня на слѣдующихъ высотахъ:

высота (въ метрахъ)	0	100	200	300
при распростр. тепла вверхъ въ	$10^ч$ $15^м$а	$10^ч$ $40^м$а	$12^ч$ дня	$2^ч$р
» обратн. ходѣ тепла внизъ »	$6^ч$ $30^м$р	$8^ч$ $45^м$р	$7^ч$ $30^м$р	$8^ч$ $25^м$р.

Въ августѣ и сентябрѣ найдена температура 18^0 на слѣдующихъ высотахъ:

высота .	0	100	200	300
часы . .	$9^ч$ $30^м$а	$10^ч$ $45^м$а	$12^ч$ $20^м$р	$2^ч$ $15^м$р.

Во время зондированій атмосферы, при помощи змѣевъ и шаровъ, найдено, что суточное колебаніе уже на высотѣ 1000 метровъ надъ земной поверхностью крайне незначительно, и на-

Digitized by Google

ступленіе максимума запаздываетъ. Напримѣръ, 31 іюля—1 августа 1901 года, въ Берлинѣ, изотерма 20° находилась:

въ 8 часовъ утра на поверхности земли,
» 12 » дня » высотѣ 450 метровъ,
» 4 » » » » 550 »
» 7 » » » » 720 » .

Наивысшая температура достигла 1600 метровъ впервые между 6 и 7 часами пополудни.

Изъ работы Angot можно видѣть также распредѣленіе температуры въ ночные часы:

высота	2	123	197	302 метр.
зимою въ 6 ч. а. .	0°.8	1.3	1.3	1.2
весною » 5 » » .	8.0	9.5	9.7	9.9
лѣтомъ » 4 » » .	12.6	13.7	13.7	13.5.

На высотѣ 300 метровъ теплѣе, чѣмъ внизу:

зимою отъ 9 ч. р до 8 ч. а
весною » 8 ч. р до 7 ч. а
лѣтомъ » 10 ч. р до 5 ч. а.

Вотъ числа, найденныя въ Берлинѣ во время зондированія 31 іюля—1 августа ночью до 5 часовъ утра:

высота	темп.	высота	темп.	высота	темп.
40 м.	15°.0	500 м.	18°.9	1000 м.	15°.0
100 »	15.2	600 »	18.0	1100 »	13.7
200 »	16.3	700 »	17.2	1200 »	13.2
300 »	20.0	800 »	16.4	1300 »	12.3
400 »	19.7	900 »	15.7	1400 »	11.1

Повышеніе температуры до высоты 300 метровъ доказываетъ, что ночное охлажденіе нижнихъ слоевъ воздуха происходитъ, по преимуществу, вслѣдствіе лучеиспусканія къ почвѣ, а не къ междупланетному пространству. Зимою, въ среднихъ и высшихъ широтахъ, это повышеніе температуры съ высотою поддерживается цѣлые дни и недѣли; оно сопутствуетъ обыкновенно высокому стоянію барометра (антициклоны), благодаря

Digitized by Google

тихой погодѣ. Снѣговой покровъ, сильно охлаждающійся, благопріятствуетъ этому состоянію.

Вертикальное распредѣленіе тепла въ дневные часы должно быть иное. Въ слояхъ, въ которыхъ происходятъ восходящія теченія, должно быть быстрое, особенно лѣтомъ, паденіе температуры (1° на 100 м. и больше). Вотъ, напримѣръ, на Эйфелевой башнѣ около 3 часовъ дня:

					уменьшеніе температуры
высота . .	2	123	197	302	на 100 метровъ
зима . . .	4°.9	4.2	3.6	2.8	» 0.70 »
весна. . .	17.4	16.1	15.5	14.9	» 0.84 »
лѣто . . .	21.5	20.1	19.4	18.5	» 1.00 » .

Наблюденія въ Страсбургѣ 7 и 8 іюня 1898 года въ $1^1/_2$ ч. дня дали паденіе температуры на 100 метровъ:

до высоты 0—350 метровъ . . . 1°.3
» » 350—700 » . . . 0.7.

Поднятія въ Соединенныхъ Штатахъ Америки:

отъ 0 до 600 метровъ . . . отъ 1°.35 до 0°.94
» 600 » 2100 » . . . » 0.94 » 0.68.

Измѣренія, весьма немногочисленныя, температуры надъ *водной* поверхностью въ дневные часы дали результаты меньшія или близкія къ выше приведеннымъ; напримѣръ, у западныхъ береговъ Шотландіи лѣтомъ 1902 года:

отъ 0 до 2000 метровъ . . . . 0°.56—0°.42
» 2000 » 3000 » . . . . 0.42— 0.37.

На Багамскихъ островахъ:

отъ 0 до 600 метровъ . . . 1°.0
» 600 » 1200 » 0.95—0.92.

Годовыя нагрѣванія и охлажденія, въ среднихъ и высшихъ широтахъ, достигаютъ очень большихъ высотъ, вѣроятно, путемъ конвективныхъ токовъ. Въ тропическихъ странахъ, гдѣ годовыя колебанія на поверхности земли невелики, высокіе слои

Digitized by Google

атмосферы имѣютъ, по всей вѣроятности, постоянную температуру. Уменьшеніе амплитуды и запаздываніе въ наступленіи момента поворота замѣтны даже на Эйфелевой башнѣ. На высотѣ 300 метровъ, годовая амплитуда меньше, чѣмъ внизу, на 1°. Наинизшая температура наступаетъ наверху и внизу 8 января; но максимумъ наблюдаютъ внизу 24 іюля, а на высотѣ 300 метровъ — 1 августа; запозданіе — 8 дней. Въ восточныхъ Альпахъ:

на высотѣ . .	0	400	2000—2100	3100 м.
минимумъ . .	8 янв.	—	серед. января	серед. февраля
максимумъ .	21 іюля	—	2 августа	2 августа
амплитуда . .	—	20.°6	15°.5	15°.0.

Въ одной изъ слѣдующихъ главъ мы увидимъ, что на высотахъ, лежащихъ между 8000 и 11000 метровъ, происходятъ еще весьма значительныя колебанія температуры.

Обозрѣвая все выше изложенное, приходимъ къ тому заключенію, что измѣненія въ тепловомъ состояніи нижнихъ слоевъ атмосферы обусловливаются измѣненіями теплового состоянія земной поверхности и, только частью, непосредственнымъ поглощеніемъ солнечной радіаціи и лучеиспусканіемъ, по преимуществу, въ почвѣ. Очевидно, поэтому, что въ тепловомъ состояніи нижнихъ слоевъ атмосферы должны отражаться всѣ тѣ измѣненія, которыя претерпѣваетъ эта поверхность; другими словами, въ измѣненіяхъ теплового состоянія нижнихъ слоевъ атмосферы должны существовать суточные и годовые періоды, а также извѣстное географическое распредѣленіе вдоль земной поверхности. Изъ выше изложеннаго видно, что изучить аналитически всѣ эти измѣненія не представляется возможнымъ, вслѣдствіе крайней сложности явленія и многочисленности дѣйствующихъ и привходящихъ факторовъ. Остается, слѣдовательно, только эмпирическій путь — путь наблюденій: нужно непосредственно наблюдать тепловое состояніе воздуха и, путемъ разработки наблюденій, найти законы его распредѣленія, какъ во времени такъ и въ пространствѣ.

Методы опредѣленія температуры воздуха въ нижнихъ слояхъ земной атмосферы. Для измѣренія температуры воздуха служатъ различныя видоизмѣненія термометра. Наблюденія надъ температурой, произведенныя въ различныхъ мѣстахъ и

Digitized by Google

въ разное время, должны быть сравнимы между собой; во вторыхъ, они должны быть произведены приборами точными и обладающими извѣстной степенью чувствительности; въ третьихъ, наблюденія эти должны выражать, возможно ближе, *истинную* температуру воздуха. Всѣ эти требованія можно считать выполненными, если наблюденія на метеорологическихъ станціяхъ удовлетворяютъ слѣдующимъ условіямъ: 1) термометры, на различныхъ станціяхъ, установлены на одной и той же высотѣ надъ поверхностью земли; въ Россіи принято наблюдать температуру на высотѣ 3 метровъ; 2) термометры предварительно изслѣдованы и сравнены съ нормальнымъ приборомъ; въ настоящее время принято шкалы термометровъ сравнивать съ показаніями водороднаго термометра; каждый термометръ, служащій для наблюденія, долженъ быть снабженъ соотвѣтствующей таблицей поправокъ [1]); 3) термометры, служащіе для измѣренія температуры воздуха, защищены отъ непосредственнаго дѣйствія солнечной инсоляціи, нагрѣвающаго или охлаждающаго дѣйствія почвы и сосѣднихъ предметовъ, отъ дождя, снѣга и другихъ гидрометеоровъ; въ то же время, къ нимъ имѣетъ мѣсто совершенно свободный доступъ воздуха изъ слоевъ, лежащихъ на одномъ уровнѣ съ воспринимающей частью прибора (резервуаромъ термометра); послѣднее (третье) условіе будетъ удовлетворено, если приборы установлены въ особыхъ защитахъ. Смотря по степени точности, съ которой производятся наблюденія, приняты различныя системы защитъ [2]):

---

[1]) Руководствомъ для тщательнаго изученія термометровъ можетъ служить классическая работа: Guillaume. Traité pratique de la thermométrie de précision. Paris. 1889, а также рядъ статей въ Travaux du bureau international des poids et mesures. Paris. Болѣе общія свѣдѣнія можно найти у Kohlrausch'a, Leitfaden der Physik (послѣднее изданіе).

[2]) Описаніе различныхъ системъ защитъ:

a) Инструкція, данная Императорскою Академіей Наукъ въ руководство метеорологическимъ станціямъ II разряда I класса. Спб.

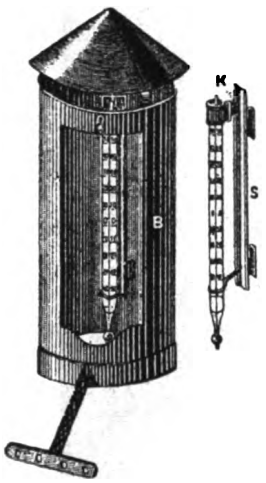
b) Angot. Instructions météorologiques. 4-me édition. Paris. 1903.

c) Anleitung zur Ausstellung und Berechnung meteorologischer Beobachtungen. Berlin. 1904. I—II Theile.

d) Jelinek's Anleitung zur Ausführung meteorologischer Beobachtungen. I—II Theile. Wien. 1905.

Digitized by Google

1) старая, нынѣ упраздненная, упрощенная защита Главной Физической Обсерваторіи, а также малая защита австрійскихъ станцій 3-го разряда (фиг 111). Объ эти защиты укрѣпляются у окна или на стѣнѣ, обращенной къ сѣверу;



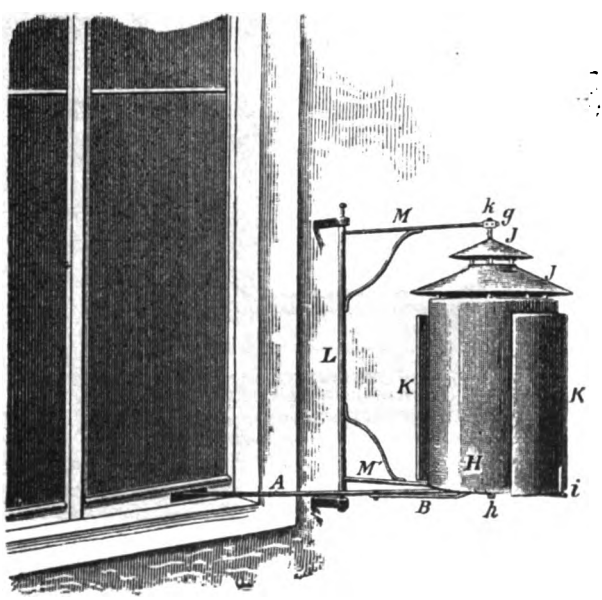
Фиг. 111.

2) французская деревянная, почти открытая, будка, примѣняемая на французскихъ станціяхъ;

3) нѣмецкая металлическая клѣтка, открытая снизу (фиг. 112); клѣтка эта укрѣпляется у окна, выходящаго на сѣверъ;

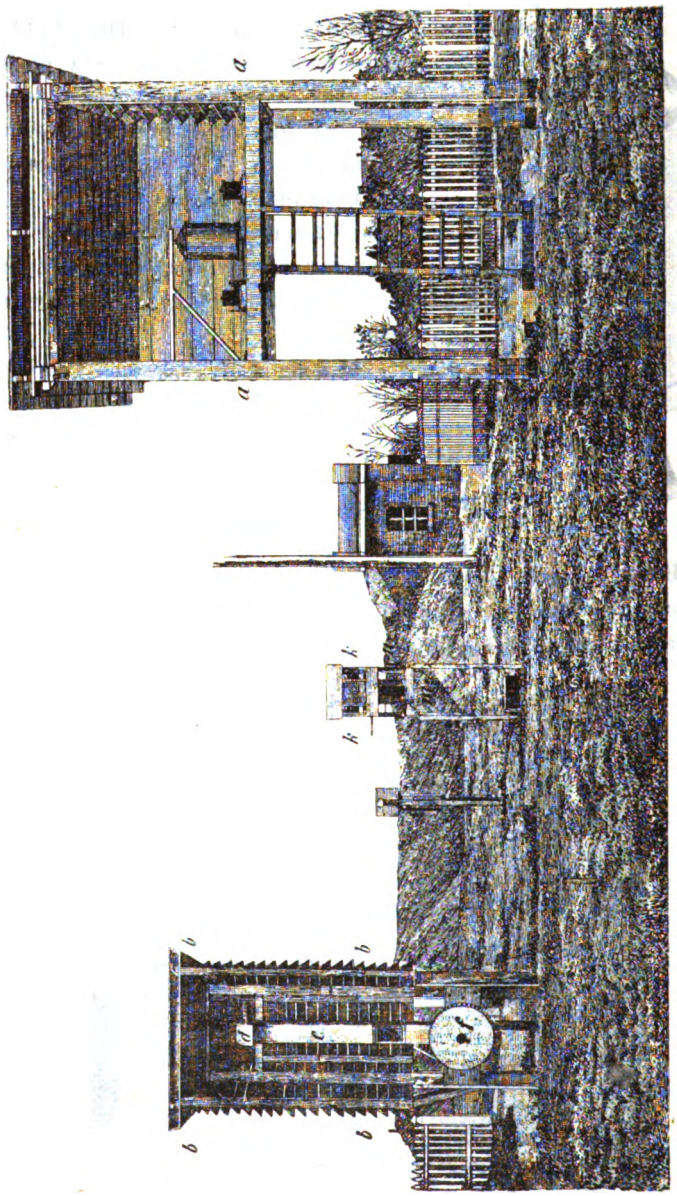
4) англійская будка Стевенсона состоитъ изъ металлической клѣтки, въ формѣ параллелепипеда, неимѣющаго дна и боковыя стѣнки которой построены по системѣ «жалюзи».

5) русская термометрическая защита Вильда (фиг. 113) состоитъ изъ деревянной будки, открытой снизу и съ сѣверной стороны; въ этой будкѣ установлена цинковая цилиндрическая клѣтка съ приборами. Деревянная



Фиг. 112

Digitized by Google



Фиг. 113.

Digitized by Google

будка Вильда устанавливается вдали отъ зданій и обращена, своей открытой стороной, къ сѣверу. Подобная установка удовлетворяетъ большей части требованій, изложенныхъ въ пунктѣ 3-емъ. Но и эта защита не безупречна. Во-первыхъ, въ лѣтніе мѣсяцы, въ теченіе дня, деревянная часть будки сильно нагрѣвается; стѣнки будки лучеиспускаютъ къ цинковой клѣткѣ, что не остается безъ вліянія на показанія термометра. Во-вторыхъ, вентиляція вгоняетъ въ клѣтку воздухъ снизу; подъ клѣткой образуется, такимъ образомъ, восходящій токъ, приносящій воздухъ изъ слоевъ, лежащихъ ниже шариковъ термометра; этотъ воздухъ можетъ имѣть температуру, отличную отъ температуры воздуха на высотѣ 3 метровъ, въ зависимости отъ нагрѣванія или охлажденія почвы. Для устраненія этого недостатка, желательно устраивать вентиляцію такъ, чтобы въ клѣтку входилъ воздухъ изъ слоя, лежащаго на уровнѣ шариковъ термометра.

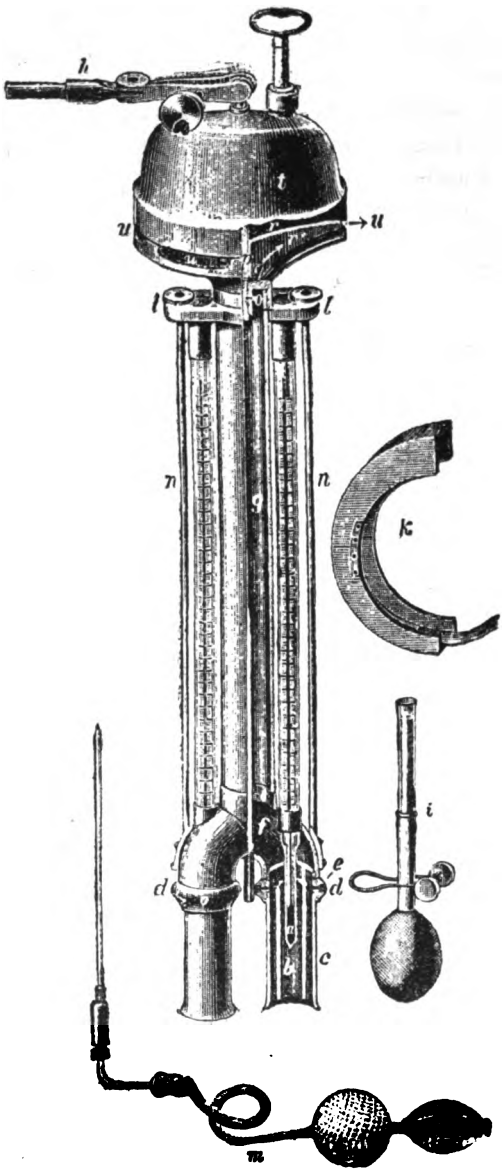
Впрочемъ, въ послѣднее время, всѣ эти установки начинаетъ вытѣснять *аспираціонный приборъ* Assmann'a, устройство котораго легко понять изъ прилагаемаго чертежа (**фиг. 114**). Въ этомъ приборѣ, термометры (сухой и влажный) помѣщаются въ особой гильзѣ; при помощи вентилятора, приводимаго въ движеніе пружиной, всасывается наружный воздухъ, который проходитъ мимо резервуаровъ термометровъ. Аспираціонный термометръ долженъ быть установленъ, во время наблюденія, въ горизонтальномъ положеніи, дабы всасываемый воздухъ поступалъ изъ того же уровня, на которомъ находится шарикъ прибора. Измѣренія, произведенныя при помощи прибора Assmann'a, можно считать нормальными. Въ метеорологической обсерваторіи университета въ Одессѣ была построена, въ большомъ масштабѣ, защита, основанная на принципѣ аспираціоннаго прибора Assmann'a, которая, при испытаніи, дала прекрасные результаты.

Сравнительная оцѣнка различныхъ защитъ была произведена, въ теченіе нѣсколькихъ лѣтъ, въ нашей обсерваторіи. Различныя защиты сравнивались съ нормальной защитой Вильда. Въ слѣдующей таблицѣ напечатаны среднія отклоненія, полученныя въ защитѣ, устроенной на принципѣ Assmann'a, по отношенію къ будкѣ Вильда:

іюль 1895 г.	$+0^{0}.09$	октябрь 1895 г.	$+0^{0}.15$
августъ » »	$+0.09$	ноябрь » »	$+0.06$
сентябрь » »	$+0.16$	декабрь » »	$+0.03$.

Digitized by Google

Защита эта, какъ показали наблюденія, даетъ, во всѣ мѣсяцы, среднія поправки съ знакомъ +, т. е. показанія ея, въ среднемъ, ниже показаній будки Вильда. Особенно велики разницы въ 9 час. вечера [1]).



Фиг. 114.

Относительно установки нужно сдѣлать еще одно замѣчаніе. Метеорологическія станціи, по большой части, устраиваются въ городахъ. Если мы сравнимъ наблюденія, произведенныя въ городѣ и на станціяхъ внѣ города, то найдемъ, что температурныя условія очень различны, слѣдовательно, эти наблюденія не даютъ точнаго представленія о температурномъ состояніи данной мѣстности. Въ Одессѣ пользуются наблюденіями трехъ станцій: 1) городской станціи при зданіи университета, 2) магнито-метеорологической обсерваторіи на Маломъ Фонтанѣ и, наконецъ, 3) стан-

[1]) Лѣтописи метеорологической обсерваторіи Новороссійскаго университета въ 1895 году, стр. CCLVII—CCLIX.

Digitized by Google

ціи на опытномъ полѣ сельско-хозяйственнаго общества. Въ слѣдующей таблицѣ помѣщены разности между мѣсячными средними, найденными на обсерваторіи М. Фонтана (М. Ф.) и на городской станціи (Г. С.), между тѣми же данными М. Фонтана и опытнаго поля (О. П.) и, наконецъ, разности между результатами городской станціи и опытнаго поля (1896—1898):

Мѣсяцы.	М. Ф.—Г. С.	М. Ф.—О. П.	Г. С.—О. П.
Январь	+0°.2	+0°.5	+0°.3
Февраль	—0.1	+0.3	+0.4
Мартъ	—0.6	—0.2	+0.4
Апрѣль	—0.9	—0.6	+0.3
Май	—1.4	—0.7	+0.7
Іюнь	—1.1	—0.3	+0.8
Іюль	—1.2	—0.7	+0.6
Августъ	—0.7	—0.5	+0.2
Сентябрь	—0.4	+0.1	+0.6
Октябрь	—0.1	+0.5	+0.6
Ноябрь	0.0	+0.8	+0.7
Декабрь	—0.1	+0.6	+0.7
Годъ	—0.6	0.0	+0.8

Изъ таблицы видно, что въ лѣтнее время температура внѣ города на берегу моря ниже, чѣмъ въ городѣ и въ откры-

Digitized by Google

томъ полѣ; въ январѣ имѣетъ мѣсто обратное явленіе. Въ городѣ, во всѣ мѣсяцы, теплѣе, чѣмъ въ открытомъ полѣ. На берегу моря въ зимніе мѣсяцы теплѣе, а въ лѣтніе — холоднѣе, чѣмъ въ открытомъ полѣ. Въ отдѣльные дни, температура, въ 1 часъ дня, въ городѣ можетъ быть выше, чѣмъ на берегу моря на 2^0 и даже на 3^0 [1]).

Во время экспедицій и путешествій употребляютъ такъ называемый *термометръ-пращъ*. На длинной нити термометръ вращаютъ около руки въ горизонтальной плоскости на подобіе праща. При этомъ, шарикъ термометра приходитъ въ соприкосновеніе съ большой массой воздуха и довольно быстро принимаетъ его температуру. Профессоръ Срезневскій придалъ термометру-пращу весьма удобное и портативное устройство.

При помощи термометровъ, установленныхъ описаннымъ способомъ, производятся непосредственныя наблюденія ежечасно или чрезъ извѣстные промежутки времени. Естественнымъ дополненіемъ къ этимъ наблюденіямъ являются еще наблюденія помощью особыхъ приборовъ, отмѣчающихъ *крайнія* показанія температуры въ теченіе сутокъ. Это, такъ называемые, максимумъ- и минимумъ-термометры, которые устанавливаются въ описанной выше нормальной будкѣ Вильда: ртутный максимумъ и спиртовой минимумъ-термометры, металлическій термографъ Вильда и термографъ Six'a [2]).

Самопишущіе приборы и ихъ разработка. Но наблюденія, произведенныя въ извѣстные часы дня, хотя бы даже дополненныя отмѣтками максимумъ- и минимумъ-термометровъ, не даютъ еще представленія о *непрерывныхъ* измѣненіяхъ температуры. Въ виду этого, на метеорологическихъ обсерваторіяхъ получили большое распространеніе *самопишущіе* или *регистрирующіе* приборы, которые, непрерывно или черезъ извѣстные, возможно короткіе, промежутки времени, автоматически записываютъ свои показанія на движущейся лентѣ. Въ настоящее время существуетъ огромное разнообразіе самопишущихъ приборовъ

[1]) Подробнѣе см. «Лѣтописи магнито-метеорологической обсерваторіи Новороссійскаго университета». Годъ 5-ый. 1898, стр. 21—28.

[2]) Подробное описаніе устройства и установки см. «Инструкція, данная Имп. Академіей Наукъ въ руководство метеорологическимъ станціямъ II разряда I класса».

Digitized by Google

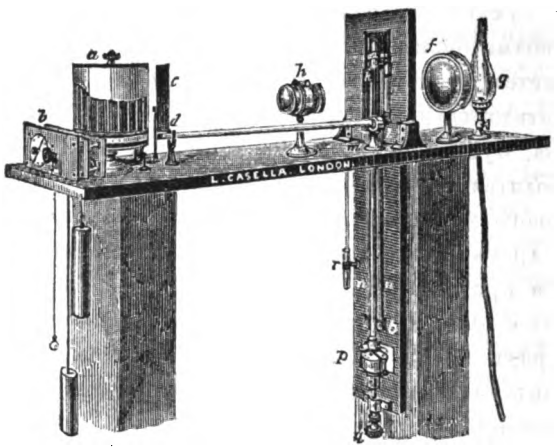
для регистрированія различныхъ метеорологическихъ факторовъ. Идея приборовъ этого рода заключается въ томъ, что *подвижная* часть инструмента [1]), измѣняющая свое положеніе въ пространствѣ въ зависимости отъ измѣненія соотвѣтствующаго метеорологическаго фактора (температуры, давленія, направленія и силы вѣтра, количества осадковъ и т. под.), пишетъ или ставитъ значки на лентѣ, движущейся, съ извѣстной скоростью, равномѣрно. Если показанія прибора не измѣняются, индексъ остается неподвижнымъ и, на движущейся бумагѣ, чертитъ прямую линію. Если же показанія прибора измѣняются, индексъ перемѣщается и на движущейся бумагѣ оставляетъ криволинейный слѣдъ. Кривая своими изгибами обнаружитъ измѣненія прибора. Такъ какъ бумага движется равномѣрно, то на ней можно найти положеніе индекса, соотвѣтствующее всякому данному моменту времени. Для удобства, бумага обыкновенно навернута на цилиндръ, который приводится въ равномѣрное вращательное движеніе помощью часового механизма. Это приборъ *механически-регистрирующій*. Въ другой группѣ приборовъ, индексъ не прикасается къ бумагѣ, а прижимается къ ней только черезъ равные, возможно короткіе, промежутки времени и на движущейся бумагѣ оставляетъ рядъ точекъ. Нажиманіе на бумагу происходитъ помощью часовъ, замыкающихъ электрическій токъ. Это—*электрически-регистрирующіе* приборы (термографъ Вильда-Гасслера, актинографъ Крова, электрографъ Бендорфа и другіе). Перемѣщенія подвижной части прибора можно увеличить системой чувствительныхъ рычаговъ. Можно также увеличить скорость вращенія барабана, на который наложена лента, и, такимъ образомъ, записи самопишущихъ приборовъ получаются въ болѣе широкомъ масштабѣ и даютъ возможность изучить мельчайшія детали въ ходѣ даннаго явленія.

Третью группу составляютъ фотографически-пишущіе приборы. Въ нихъ подвижная часть прибора снабжается легкимъ зеркальцемъ. Пучекъ свѣта направляется на зеркальце, и, отражаясь, падаетъ на перемѣщающуюся по прямому направленію свѣточувствительную бумажную ленту; на этой лентѣ, послѣ проявленія, получится прямолинейный слѣдъ, если показанія прибора оставались неизмѣнными и криволинейный, если приборъ испы-

[1]) Подвижную часть прибора будемъ называть вообще *индексомъ*.

Digitized by Google

тывалъ измѣненія. Въ фотографически-пишущихъ приборахъ, кривыя будутъ детальнѣе, если увеличить разстояніе отъ зеркальца до свѣточувствительной бумаги, воспринимающей записи. Въ такомъ, именно, видѣ примѣняется фотографическій методъ къ регистрированію магнитныхъ и электрическихъ явленій. Но этимъ же методомъ можно воспользоваться для записи колебаній ртутнаго термометра или ртутнаго барометра, какъ это сдѣлано въ приборахъ, установленныхъ въ обсерваторіи Кью въ Англіи (фиг. 115). Свѣтъ отъ лампы *g* собирается и направляется чече-



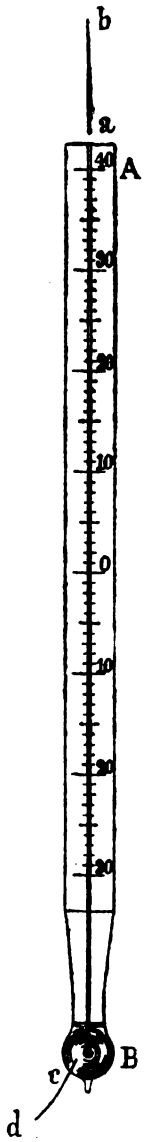
Фиг. 115.

вицей *f* на уровень ртути въ барометрѣ, вставленномъ въ прорѣзъ ширмы *m*; фотографическій объективъ *h* даетъ изображеніе уровня ртути на фотографической бумагѣ, навернутой на цилиндръ *a*, вращаемый часовымъ механизмомъ *b*. При помощи того же механизма, прорѣзъ въ ширмѣ *m* закрывается, черезъ каждый часъ, на одну минуту, заслонкой, вслѣдствіе чего, на фотографической бумагѣ получаются бѣлыя тонкія линіи, позволяющія отсчитывать время. Граница между черной и бѣлой частями бумаги показываетъ ходъ барометра.

Возможенъ, наконецъ, приборъ, автоматически *печатающій* свои показанія черезъ извѣстные промежутки времени (метеорографъ Теорелля). Приборъ состоитъ (фиг. 116) изъ обыкновеннаго термометра *AB*, верхній конецъ котораго открытъ. Въ открытомъ каналѣ термометра движется, помощью особаго меха-

Digitized by Google

низма, съ извѣстною равномѣрною скоростью, платиновый стержень *ab*; этотъ стержень соединенъ съ полюсомъ гальваническої батареи; другой же полюсъ ея соединенъ съ платиновой проволокой, впаянной въ шарикъ термометра. Рядомъ съ термометромъ помѣщается колесо (фиг. 117), на окружности котораго находится типографскій шрифтъ (собственно числа: 0, 1, 2, 3, 4, 5. . .). Движенія стержня строго уравномѣрены съ вращеніемъ колеса; когда, напр., стержень подвинется внизъ на 1^0, то колесо повернется на извѣстный уголъ. Надъ этимъ колесомъ находится бумажная лента *gh*, движущаяся равномѣрно помощью часового механизма. Чрезъ извѣстные промежутки времени, она надавливается на колесо, т. е., собственно говоря, на ту его цифру, которая, въ этотъ моментъ, находится на верхней его части. Если шрифтъ покрытъ типографскими чернилами, то на бумагѣ получится отпечатокъ этой цифры. Дѣйствіе прибора слѣдующее. Стержень начинаетъ итти внизъ; въ это же время колесо поворачивается около оси, и, такъ какъ движенія колеса и стержня уравномѣрены, то сколько дѣленій пройдетъ стержень, на столько же дѣленій повернется цифра, бывшая прежде на верхней части колеса, а на мѣстѣ ея станетъ уже другая цифра. Когда стержень прикоснется къ ртути, то въ это время цѣпь замыкается, бумага прижимается къ колесу, и на ней остается отпечатокъ цифры, находящейся на верхней части колеса. Послѣ этого, стержень и колесо приходятъ въ первоначальное положеніе и черезъ четверть часа опять начинаютъ свое движеніе. Такимъ образомъ на бумажной лентѣ будетъ напечатанъ рядъ цифръ; такъ какъ движенія колеса и стержня, повторяемъ, строго уравномѣрены, то эти цифры будутъ показывать различныя высоты ртути, черезъ каждую четверть часа. Въ приборѣ Теорелли печатаются также, черезъ каждую чет-

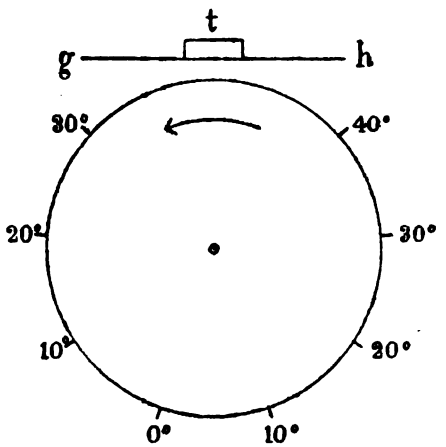


Фиг. 116.

Digitized by Google

верть часа, показанія барометра, количество влаги, направленіе и сила вѣтра.

Въ заключеніе, упомянемъ о приборѣ, находившемся на электрической выставкѣ, въ 1889 году, въ Парижѣ, устроенномъ Ванъ-Риссельбергомъ и названномъ *телеметеорографомъ*. Регистрирующій приборъ Ванъ-Риссельберга первоначально установленъ былъ въ Остенде; въ приборѣ соединены всѣ главнѣйшіе метеорологическіе инструменты, которые тутъ же и отмѣчаютъ свои показанія. Но въ послѣднее время Ванъ-Риссельбергъ значительно усовершенствовалъ его; теперь телеметеорографъ отмѣчаетъ показанія всѣхъ своихъ частей не только въ томъ мѣстѣ, гдѣ установленъ, но даже, соединенный телеграфной проволокой, онъ передаетъ и отмѣчаетъ свои показанія на извѣстномъ разстояніи. Такимъ образомъ, телеметеорографъ Ванъ-Риссельберга даетъ возможность сконцентрировать въ одномъ мѣстѣ наблюденія, произведенныя на большомъ пространствѣ. Если извѣстный районъ снабженъ приборами Ванъ-Риссельберга, соединенными съ однимъ центральнымъ помощью телеграфныхъ проволокъ, то показанія всѣхъ этихъ приборовъ будутъ передаваться въ центральную станцію и здѣсь отмѣчаться помощью кривыхъ линій; а это даетъ возможность судить объ одновременномъ ходѣ метеорологическихъ явленій на большомъ районѣ. Послѣднее же особенно важно для предсказанія погоды.



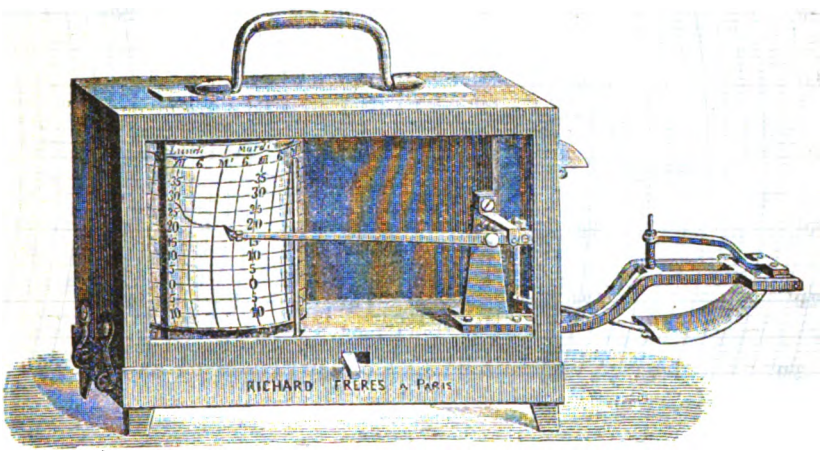
Фиг. 117.

Въ частности, для регистрированія температуры, огромное распространеніе получили, въ послѣднее время, термографы Ришара (фиг. 118). Часть прибора, воспринимающая измѣненія температуры, представляетъ изогнутую тонкостѣнную латунную трубку, наполненную спиртомъ. Верхній конецъ ея закрѣпленъ неподвижно, а нижній, при измѣненіяхъ температуры, измѣняетъ свое положеніе въ пространствѣ; перемѣщенія этого конца

Digitized by Google

трубки, посредствомъ системы рычаговъ, передаются перу, которое пишетъ кривую на вращающемся барабанѣ, покрытомъ соотвѣтствующей бумажной лентой.

Записи самопишущихъ приборовъ должны быть разработаны. А для этого нужно сдѣлать рядъ подготовительныхъ работъ, которыя давали бы возможность тотчасъ же перевести графическія показанія приборовъ въ абсолютныя единицы (градусы, миллиметры и т. п.). Приборъ, записывающій температуру, чертитъ кривую, соотвѣтствующую измѣненіямъ подвиж-



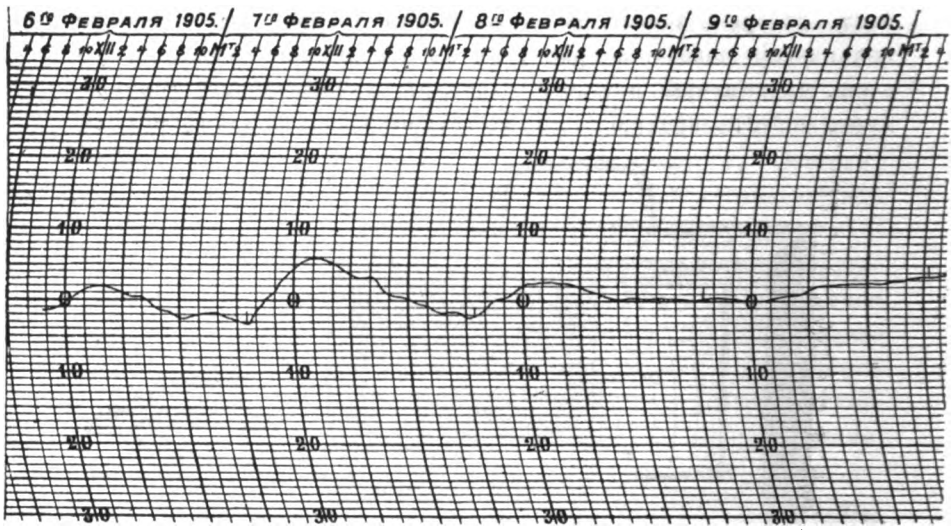
Фиг. 118.

ной части инструмента. Очевидно, что ординаты различныхъ точекъ этой кривой и выражаютъ температуры въ соотвѣтствующіе моменты. Нужно найти формулы для перевода этихъ ординатъ въ градусы. Эти ординаты отсчитываютъ отъ нѣкоторой постоянной прямой линіи (оси абсциссъ). Въ термографѣ Ришара на бумажной лентѣ намѣченъ рядъ продольныхъ линій, соотвѣтствующихъ различнымъ температурамъ; рядъ поперечныхъ линій выражаетъ двухчасовые промежутки. На снятой съ барабана лентѣ (фиг. 119) можно непосредственно, для *данная* времени, отсчитать соотвѣтствующую температуру; напримѣръ, изъ приложенной ленты видно, что 7 февраля температура была слѣдующая:

въ	6	час.	утра	.	.	.	—3°.0
»	8	»	»	.	.	.	—1.5
»	10	»	»	.	.	.	+1.0.

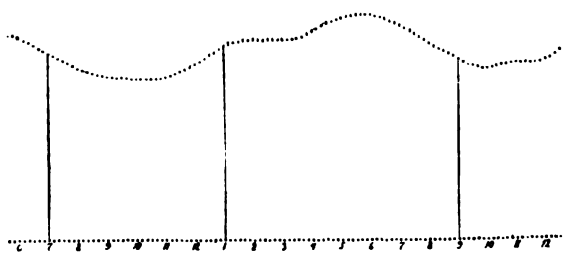
Digitized by Google

Въ приборѣ Hassler'a, пунктирная кривая получается (фиг. 120) на полосѣ бумаги, на которой нѣтъ ни температурныхъ, ни часовыхъ линій. Осью абсциссъ служитъ нижняя пунктирная прямая, отмѣченная той частью прибора,



Фиг. 119.

которая не измѣняетъ своего положенія съ измѣненіемъ температуры. Въ этомъ случаѣ, нужно на постоянной прямой, представляющей ось абсциссъ, найти точки, соотвѣтствующія



Фиг. 120.

1, 2, 3,... часамъ сутокъ, а это легко сдѣлать, если извѣстно время, когда поставлена одна изъ точекъ и если будемъ помнить, что точки ставятся, напримѣръ, черезъ каждыя 10 минутъ. Для облегченія счета точекъ, слѣдуетъ ежедневно, напримѣръ:

Digitized by Google

въ полдень, отмѣчать карандашемъ точку, поставленную приборомъ въ этотъ моментъ. Изъ точекъ, поставленныхъ въ 1, 2, 3,... часа, проведемъ перпендикуляры (ординаты) до пересѣченія съ кривой и измѣримъ *длины* этихъ ординатъ въ миллиметрахъ или другихъ единицахъ длины. Измѣреніе это можно сдѣлать или циркулемъ и масштабомъ, или при помощи особой стеклянной пластинки, на которой тонкими штрихами нарѣзаны прямыя, отстоящія другъ отъ друга на 1 мм. Пластинка эта накладывается такъ, чтобы одна изъ ея линій совпала съ осью абсциссъ, и тогда, по дѣленіямъ, можно измѣрить длину ординатъ.

Если бы самопишущій приборъ былъ вполнѣ совершенъ и измѣненіями подвижной своей части вполнѣ соотвѣтствовалъ бы измѣненіямъ температуры, то, разъ установленный, онъ давалъ бы *непосредственно* дѣйствительныя температуры. Но крайне трудно урегулировать показанія самопишущаго прибора съ дѣйствительнымъ ходомъ измѣряемаго фактора; кромѣ того, всякій инструментъ можетъ измѣнять свои показанія съ теченіемъ времени, отъ дѣйствія давленія, температуры, влажности, отъ измѣненій упругости составляющихъ его частей. Ясно, поэтому, что для того, чтобы, изъ записей термографа, получить истинныя показанія нормальныхъ приборовъ, нужно вывести формулы, служащія для перевода снятыхъ съ ленты показаній въ нормальныя. Этотъ процессъ называется *разработкой* записей самопишущихъ приборовъ. Для исполненія этой работы, необходимо, рядомъ съ самопишущимъ приборомъ, установить, въ тѣхъ же условіяхъ, нормальный термометръ, на которомъ въ извѣстные часы производились бы непосредственные отсчеты. Изъ сопоставленія этихъ непосредственныхъ отсчетовъ съ показаніями термографа въ тѣ же моменты и можно найти необходимыя поправки или составить переводныя формулы. Пусть непосредственныя наблюденія производятся въ 8 час. утра, 2 часа дня и въ 10 час. вечера:

	11 апрѣля			12 апрѣля		
	8	2	10	8	2	10
термометръ нормальн. .	12°.6	21°.3	13°.6	10°.2	19°.7	11°.6
термографъ Ришара .	11.7	21.0	13.0	9.2	19.3	10.8
разность	+0.9	+0.3	+0.6	+1.0	+0.4	+0.8.

Digitized by Google

Числа послѣдней строки даютъ поправки термографа въ часы наблюденій. Придавая эти поправки съ соотвѣтствующими знаками, мы, тѣмъ самымъ, обратимъ показанія термографа въ показанія нормальныхъ приборовъ. Кстати замѣтимъ, что ходъ этихъ поправокъ можетъ служить критеріумомъ доброкачественности прибора. Въ хорошихъ приборахъ, поправки, при своихъ измѣненіяхъ, обнаруживаютъ извѣстную законность, безъ рѣзкихъ скачковъ и быстрыхъ измѣненій величины и знака. Остается теперь вычислить поправки для всѣхъ часовъ, лежащихъ въ промежуткѣ между непосредственными наблюденіями. Для примѣра, найдемъ поправки для 9, 10, 11 и 12 часовъ. Нахожденіе этихъ поправокъ основано на томъ допущеніи, что, въ промежуткѣ между 8 час. утра и 2 часами дня, поправка измѣнилась равномѣрно. Но до 2 час. дня поправка уменьшилась отъ $+0^{0}.9$ до $+0^{0}.3$, т. е., на $0^{0}.6$; *часовое* ея измѣненіе можно принять $\frac{0^{0}.6}{6}=0^{0}.1$. На этомъ основаніи, поправки будутъ имѣть слѣдующія значенія:

часы	8	9	10	11	12	1	2
поправки .	$+0^{0}.9$	$+0.8$	$+0.7$	$+0.6$	$+0.5$	$+0.4$	$+0.3$

Если термографъ въ эти часы показалъ:

часы	8	9	10	11	12	1	2
показаніе термографа .	$11^{0}.7$	12.4	13.1	16.8	18.4	19.7	21.0,

то исправленныя температуры выразятся слѣдующимъ образомъ:

часы	8	9	10	11	12	1	2
исправл. температуры .	$12^{0}.6$	13.2	13.8	17.4	18.9	20.1	21.3

Но существуетъ и другой, болѣе общій, пріемъ. Пусть T—показаніе нормальнаго ртутнаго термометра, R—запись (длина ординаты или число градусовъ) термографа, a и b—постоянные коэффиціенты. Зависимость между T и R можно выразить эмпирической формулой:

$$T=a+bR \qquad (1)$$

Остается только вычислить a и b изъ наблюденій. Положимъ, что непосредственныя наблюденія, произведенныя черезъ извѣстные промежутки времени, будутъ T_1, T_2, T_3, ... T_n, а пока-

Digitized by Google

занія термографа для тѣхъ-же моментовъ $R_1, R_2, R_3, \ldots R_n$. Очевидно, что каждая пара наблюденій должна удовлетворять уравненію (1), а слѣдовательно:

$$\left.\begin{aligned} T_1 &= a + bR_1 \\ T_2 &= a + bR_2 \\ T_3 &= a + bR_3 \\ &\cdots\cdots \\ T_n &= a + bR_n. \end{aligned}\right\} \quad 2)$$

Получимъ столько уравненій съ двумя неизвѣстными, сколько сдѣлано наблюденій. Если число уравненій больше, чѣмъ число неизвѣстныхъ, то неизвѣстныя вычисляются по способу наименьшихъ квадратовъ. Отсылая читателя къ курсамъ теоріи вѣроятностей [1]), возобновимъ въ памяти пріемъ, указанный на стр. 285. Нужно каждое изъ уравненій умножить на коэффиціентъ, стоящій у перваго неизвѣстнаго въ этомъ уравненіи, и всѣ уравненія сложить; получимъ первое *нормальное* уравненіе:

$$T_1 + T_2 + T_3 + \ldots = na + b(R_1 + R_2 + R_3 + \ldots).$$

Обозначая

$$T_1 + T_2 + T_3 + \ldots = \Sigma T,$$

$$R_1 + R_2 + {}_3 + \ldots = \Sigma R,$$

$$\Sigma T = na + b\Sigma R. \qquad (3)$$

Затѣмъ каждое изъ уравненій (2) умножимъ на коэффиціентъ, стоящій у второго неизвѣстнаго и сложимъ; получимъ второе нормальное уравненіе:

$$T_1 R_1 = aR_1 + bR_1^2$$

$$T_2 R_2 = aR_2 + bR_2^2$$

[1]) См. a) Маевскій. Изложеніе способа наименьшихъ квадратовъ. Спб. 1881 и b) Шидловскій. Сферическая астрономія по Шовене и Брунову. Ч. II. Кіевъ, 1867.

Digitized by Google

$$T_3R_3=aR_3+bR_3^2$$

. . . . . .

$$T_nR_n=aR_n+bR_n^2;$$

$$T_1R_1+T_2R_2+T_3R_3\ldots=a(R_1+R_2+R_3+\ldots)+b(R_1^2+R_2^2+R_3^2+\ldots)$$

или, обозначая

$$T_1R_1+T_2R_2+\ldots=\Sigma TR$$

$$R_1^2+R_2^2+R_3^2+\ldots=\Sigma R^2,$$

получимъ:

$$\Sigma TR=a\Sigma R+b\Sigma R^2. \qquad (4)$$

Изъ двухъ уравненій (3) и (4) легко опредѣлить a и b Зная a и b въ формулѣ

$$T=a+bR,$$

мы, для всякой ординаты R, найдемъ соотвѣтствующее показаніе нормальнаго прибора. Иногда ординаты, измѣренныя въ теченіе мѣсяца, по ихъ величинѣ дѣлятъ на группы (напримѣръ, первую группу составятъ ординаты, величина которыхъ колеблется отъ 1 до 10, другую группу—отъ 10 до 20 и т. д.) и для каждой группы составляютъ особую формулу. Для большей точности, не довольствуются линейной формулой и вычисленія производятъ при помощи уравненія 2-го порядка:

$$T=a+bR+cR^2.$$

Опредѣленіе постоянныхъ a, b и c производятъ по прежнему пріему [1]).

Необходимо замѣтить, что, при разработкѣ записей самопишущихъ приборовъ, необходимо обращать особенное вниманіе на ходъ часовъ, приводящихъ въ движеніе бумажную ленту, регулировать ихъ возможно тщательнѣе и принимать въ расчетъ ихъ запаздываніе или ускореніе.

---

[1]) Подробнѣе см. Шпиндлеръ: «Установка и обработка записей самопишущихъ приборовъ Ришара». Записки по гидрографіи, вып. XII, стр. 67—79.

Digitized by Google

Принципъ непрерывности. Изъ изложеннаго видно, что самопишущіе приборы не освобождаютъ метеоролога отъ *непосредственныхъ* срочныхъ наблюденій. Можетъ, поэтому, явиться вопросъ: къ чему же служатъ самопишущіе приборы, если они не освобождаютъ наблюдателя отъ довольно утомительной, по своей срочности, работы непосредственныхъ наблюденій? Хотя регистрирующіе приборы не освобождаютъ наблюдателя отъ непосредственныхъ наблюденій, тѣмъ не менѣе, они оказываютъ современной наукѣ громадныя услуги. Непосредственныя наблюденія производятся только въ опредѣленные часы; а слѣдовательно, всѣ тѣ измѣненія, которыя происходятъ въ промежуткѣ между наблюденіями, совершенно ускользаютъ отъ вниманія и изученія. Еще недавно въ метеорологіи ограничивались изученіемъ только нѣкотораго средняго состоянія метеорологическихъ элементовъ, характеризующихъ средній климатическій режимъ извѣстной мѣстности или извѣстнаго періода времени. Но вѣдь жизнь природы представляется *непрерывной* смѣной явленій, тѣсно связанныхъ между собой и происходящихъ по извѣстнымъ законамъ. Законосообразность эту можно изучить, введя въ науку принципъ *непрерывности* наблюденій какъ въ пространствѣ, такъ и во времени. Принципъ непрерывности наблюденій *въ пространствѣ* можно установить, организуя возможно болѣе густую сѣть наблюдательныхъ станцій, на столько, чтобы явленіе, выходя изъ сферы наблюденій одного наблюдательнаго пункта, тотчасъ же входило въ сферу наблюденій слѣдующей станціи. Непрерывность наблюденій *во времени* достигается, именно, установкой въ наблюдательныхъ пунктахъ самопишущихъ приборовъ. Помощью самопишущихъ инструментовъ установлено, напримѣръ, что ходъ всѣхъ метеорологическихъ факторовъ совершается не плавно, а путемъ ряда мелкихъ движеній или пульсацій. Самопишущіе приборы установили тѣсную зависимость между ходомъ различныхъ категорій явленій; напримѣръ, зависимость восходящихъ и нисходящихъ токовъ отъ мѣстныхъ нагрѣваній и охлажденій, связь между магнитными бурями и земными токами, между пробужденіями дѣятельности на поверхности солнца и измѣненіями магнитныхъ силъ на землѣ. Регистрирующіе приборы показали, что подземные импульсы, получаемые земной корой во время землетрясеній, распространяются на тысячи миль. Нѣкоторыя явленія можно

Digitized by Google

было изучить детально только при помощи самопишущихъ приборовъ; напримѣръ, магнитныя бури или явленія атмосфернаго электричества. Самопишущіе приборы дали возможность доказать, что наши лѣтнія грозы можно разсматривать, какъ небольшіе вихри, образующіеся и движущіеся на окраинахъ большихъ циклоновъ и т. д. Короче говоря, самопишущіе приборы представляютъ, въ настоящее время, необходимое и могущественное орудіе въ рукахъ ученаго.

Суточныя колебанія температуры. Изучая, при помощи непосредственныхъ наблюденій и самопишущихъ приборовъ, измѣненія температуры въ низшихъ слояхъ атмосферы, мы замѣчаемъ, прежде всего, суточные и годовые періоды. Суточный періодъ въ ходѣ температуры воздуха сходенъ съ суточнымъ періодомъ въ ходѣ температуры почвы. Температура воздуха, около времени солнечнаго восхода, проходитъ черезъ минимумъ; затѣмъ, она постепенно повышается, спустя 2—3 часа послѣ полудня достигаетъ своего крайняго повышенія, а затѣмъ, опять падаетъ до слѣдующаго утренняго минимума. Другими словами, она, въ теченіе сутокъ, совершаетъ одно полное колебаніе съ однимъ максимумомъ и однимъ минимумомъ. Въ отдѣльные дни, правильность этихъ колебаній можетъ быть замаскирована массой второстепенныхъ факторовъ (облачность, осадки, воздушныя теченія и т. д.), но выступаетъ ярко въ ходѣ среднихъ чиселъ. При изученіи суточнаго хода нужно разсматривать отдѣльныя его детали, а именно: 1) общую форму кривой суточнаго хода и величину ея крайнихъ отклоненій (максимумъ и минимумъ); 2) разность между максимальной и минимальной суточной температурой, т. е. *амплитуду суточныхъ* колебаній и ея зависимость отъ различныхъ факторовъ; 3) моменты наступленія этихъ крайнихъ температуръ и ихъ возможное перемѣщеніе. Приведемъ здѣсь, прежде всего, средній суточный ходъ температуры въ Одессѣ для января и іюля [1]):

[1]) См. Лѣтописи магнито-метеорологической обсерваторіи Новороссійскаго университета. Одесса, 1898.

Digitized by Google

часы	средніе температуры въ январѣ		возрастаніе температуры въ январѣ		средніе температуры въ іюлѣ		возрастаніе температуры въ іюлѣ	
	до полудня	послѣ полудня	до полудня	послѣ полудня	до полудня	послѣ полудня	до полудня	послѣ полудня
1	—3°.7	—2.2	— 0.3	+0.3	19.8	25.5	0.6	+0.2
2	—3.8	—2.0	—0.1	+0.2	19.4	25.9	—0.4	+0.4
3	—3.9	—1.9	—0.1	+0.1	19.1	25.9	—0.3	0.0
4	—4.0	—2.0	—0.1	—0.1	18.7	25.9	- 0.4	0.0
5	—4.0	—2.3	0.0	—0.3	18.9	25.7	+0.2	— 0.2
6	—4.5	—2.5	—0.5	—0.2	20.2	25.5	+1.3	—0.2
7	—4.1	—2.7	+0.4	—0.2	21.3	24.3	+1.1	—1.2
8	—4.1	—2.8	0.0	—0.1	22.5	22.8	+1.2	— 1.5
9	—3.7	—2.9	+0.4	—0.1	23.3	22.1	+0.8	—0.7
10	—3.3	— 3.0	+0.4	—0.1	24.2	21.4	+0.9	—0.7
11	—2.8	—3.2	+0.5	—0.2	24.8	20.9	+0.6	—0.5
12	—2.5	—3.4	+0 3	—0.2	25.3	20.4	+0 5	—0.5

Изъ выше приведенной таблицы видно, что въ январѣ минимумъ приходится въ 6 ч. утра, максимумъ въ 3 часа дня; въ іюлѣ минимумъ падаетъ на 4 ч. утра (около времени солнечнаго восхода), максимумъ на 2—4 часа дня. Наиболѣе быстрое *паденіе* тепла имѣетъ мѣсто въ январѣ около 6 часовъ утра, а въ іюлѣ—между 7 и 8 часами пополудни. Средняя амплитуда колебаній въ январѣ равна 2°.6, а въ іюлѣ достигаетъ 7°.2. Въ общемъ, характеръ суточныхъ колебаній температуры воздуха

Digitized by Google

аналогиченъ суточнымъ колебаніямъ температуры почвы, съ тою разницею, что максимумъ въ воздухѣ наступаетъ 2 — 3 часами позже, чѣмъ въ почвѣ. Суточный ходъ температуры воздуха въ другихъ пунктахъ земной поверхности отличается отъ выше приведеннаго величиною амплитуды и абсолютными значеніями максимума и минимума. Особенный интересъ представляетъ изученіе амплитудъ суточныхъ колебаній, такъ какъ онѣ служатъ характеристикой климата различныхъ мѣстностей. Можно сказать a priori, что всѣ тѣ обстоятельства, которыя способствуютъ увеличенію или уменьшенію интенсивности солнечной инсоляціи, съ одной стороны, и измѣненію силы ночного лучеиспусканія, съ другой, должны отражаться на суточномъ ходѣ температуры. Въ частности, величина амплитуды суточныхъ колебаній имѣетъ слѣдующій ходъ:

1) Въ одномъ и томъ же мѣстѣ она зависитъ отъ времени года и отъ суточнаго хода облачности и осадковъ. Въ нашихъ широтахъ амплитуды вообще возрастаютъ отъ зимы къ лѣту, по мѣрѣ того, какъ увеличивается полуденная высота солнца надъ горизонтомъ; напримѣръ, въ Одессѣ:

мѣсяцы	ампл.	мѣсяцы	ампл.
январь	2.°6	іюль	7°.2
февраль . . .	2.6	августъ . . .	7.2
мартъ	2.9	сентябрь . . .	6.5
апрѣль	4.5	октябрь . . .	3.7
май	5 0	ноябрь	2.9
іюнь	6.4	декабрь . . .	2.0

При одной и той же высотѣ солнца, она весною больше, чѣмъ осенью, такъ какъ весною ночное лучеиспусканіе сильнѣе, чѣмъ осенью. Въ высокихъ широтахъ, лѣтомъ, вслѣдствіе краткости ночи, амплитуда нѣсколько уменьшена. Въ сѣверной Индіи, амплитуда обнаруживаетъ зависимость отъ облачности:

	мартъ	августъ
амплитуда . . .	14°.8	4°.9
облачность. . .	2.4	4.8

2) Суточныя амплитуды увеличиваются по мѣрѣ уменьшенія широты, такъ какъ, вмѣстѣ съ тѣмъ, увеличивается полуденное

Digitized by Google

стояніе солнца и длина ночи въ лѣтніе мѣсяцы. Наибольшихъ амплитудъ слѣдуетъ ожидать въ низшихъ широтахъ, гдѣ имѣютъ мѣсто наиболѣе сильныя ночныя лучеиспусканія (пустыни, высокія плоскогорія).

Allahabad (Индія)	подъ	22°.1	с. ш.	амплитуда 15°.4
Нукусъ	»	26.2	» »	» 12.1
Барнаулъ	»	53.3	» »	» 8.1
Екатеринбургъ	»	58.6	» »	» 6.9
Сагастырь	»	73.4	» »	» 2.3
Franklin-bay	»	81.7	» »	» 1.4.

Во время лѣта полярныхъ странъ суточныя колебанія должны быть весьма невелики, ибо солнце въ теченіе дня мало измѣняетъ свою высоту, а ночи или очень коротки, или ихъ вовсе нѣтъ. Во время полярной ночи правильныя колебанія совершенно прекращаются. Наиболѣе сильны колебанія весною.

3) Качество почвы имѣетъ огромное значеніе для величины амплитудъ. Надъ океанами суточная амплитуда не превышаетъ 1°—1°.5, между тѣмъ, въ степяхъ Стараго и Новаго Свѣта она достигаетъ 14°—16° и даже 20° и болѣе.

4) Сильное вліяніе на величину суточной амплитуды должна имѣть, очевидно, влажность воздуха и степень облачности; съ увеличеніемъ влажности и облачности крайнія отклоненія температуры должны естественно умѣряться, какъ это видно изъ слѣдующихъ чиселъ:

	Бергенъ		Петербургъ		Нерчинскъ
	декабрь	іюль	январь	май	годъ
пасмурно. . .	2°.4	4.6	0.4	3.4	5.5
ясно	8.2	15.4	3.6	10.0	15.8.

Къ подобному же выводу приходитъ Angot изъ наблюденій въ Парижѣ:

облачность	0	2	4	6	8	10
амплитуда						
въ декабрѣ. . .	6°.5	5.4	4.4	3.5	2.6	1.8
» апрѣлѣ . . .	15.5	13.0	10.6	8.4	6.3	4.3.

5) Воейковъ впервые указалъ на весьма важную и интересную связь, существующую между величиной амплитуды и

Digitized by Google

топографическими условіями мѣстности: a) выпуклыя поверхности (горныя вершины) уменьшаютъ амплитуды и тѣмъ больше, чѣмъ круче выступаетъ выпуклость; b) вогнутыя формы (долины) увеличиваютъ амплитуды; c) нормальныя амплитуды имѣютъ мѣсто надъ ровной поверхностью. И дѣйствительно, на вершинѣ горы, выступающей круто вверхъ, воздухъ имѣетъ малую поверхность соприкосновенія съ почвой, отъ которой онъ днемъ получаетъ тепло, а ночью отдаетъ его. Въ долинѣ, особенно замкнутой, воздухъ нагрѣвается отъ соприкосновенія съ дномъ и боками долины и, при безвѣтріи, сильно застаивается; ночью охлаждается не только дно, но и склоны долины и холодный воздухъ стекаетъ внизъ. Особенно большой амплитуды можно ожидать на высокихъ обширныхъ плоскогоріяхъ болѣе низкихъ широтъ, напримѣръ, въ Тибетѣ, гдѣ амплитуды суточныхъ колебаній достигаютъ 20°.6. Приведемъ примѣры, взятые изъ Hann'a, для доказательства вліянія рельефа на величину суточныхъ амплитудъ:

A) вершины и склоны:

	высота въ м.	7 ч. а	1 ч. р	амплитуда
Chaumont	1130	13°.0	19.0	6.0
b. Gais	1150	13.8	16.7	2.9
Rigikulm	1790	9.7	12.4	2.7.

B) долины:

Schuls	1240	11.7	21.2	9.5
Reckingen	1350	9.2	20.1	10.9
Bevers	1710	8.0	18.1	10.1.

Моментъ наступленія наиболѣе низкой температуры воздуха вездѣ или совпадаетъ, или нѣсколько предшествуетъ восходу солнца. Максимумъ на сушѣ 1—3 часами позже полудня, а надъ океаномъ и на горныхъ вершинахъ спустя $^1/_2$ часа послѣ полудня. Въ ясные дни максимумъ нѣсколько запаздываетъ. Нѣкоторыя явленія могутъ внести извѣстную модификацію. Такъ, на берегахъ, гдѣ еще до полудня начинаетъ дуть вѣтеръ съ моря, прерывается приливъ тепла и максимумъ можетъ наступить до полудня. Подобное перемѣщеніе точки поворота суточной

Digitized by Google

кривой можетъ быть вызвано накопленіемъ облаковъ и выпадающими дождями съ грозой, какъ это имѣетъ мѣсто въ тропическомъ поясѣ.

Годовой ходъ температуры. Но температура низшихъ слоевъ имѣетъ еще и годовой ходъ. Чтобы изучить этотъ ходъ, нужно сравнить тепловое состояніе воздуха въ данномъ мѣстѣ день за днемъ. Мѣрою суточнаго состоянія считаютъ среднюю суточную температуру. Строго говоря, для полученія средней суточной температуры нужно измѣрить площадь, ограниченную осью абсциссъ, кривой суточнаго хода и крайними ординатами (на термограммѣ, это можно сдѣлать помощью планиметра) и раздѣлить эту площадь на длину части оси абсциссъ, заключенную между двумя крайними ординатами (если площадь измѣрена въ квадратныхъ сантиметрахъ, то ось абсциссъ должна быть измѣрена въ линейныхъ сантиметрахъ); частное дастъ высоту прямоугольника, равновеликаго нашей площади и называется средней суточной температурой. Опытъ показалъ, что полученная средняя суточная температура будетъ близка къ той, которая получится изъ часовыхъ наблюденій по формулѣ:

$$T=\frac{1}{24}\left(\frac{1}{2}\text{XXIV}+\text{I}+\text{II}+\ldots.+\text{XXIII}+\frac{1}{2}\text{XXIV}\right),$$

гдѣ римскія цифры представляютъ температуру, измѣренную въ различные часы сутокъ. Но въ виду крайней трудности вести ежечасныя наблюденія на станціяхъ, не снабженныхъ самопишущими приборами, старались подобрать такую комбинацію часовъ, которая давала бы возможность вычислить результаты, возможно ближе подходящіе къ истиннымъ суточнымъ среднимъ. Предложены были разныя комбинаціи:

$$\frac{1}{3}(\text{VI a}+\text{II p}+\text{X p}),$$

$$\frac{1}{3}(\text{VII a}+\text{I p}+\text{IX p}),$$

$$\frac{1}{4}(\text{VII a}+\text{II p}+2\,\text{IX p}),$$

$$\frac{1}{2}(\text{Maxim.}+\text{Minim.}).$$

Digitized by Google

При выборѣ той или другой комбинаціи, кромѣ удобства наблюденій, нужно имѣть въ виду, чтобы среднее, полученное изъ принятой комбинаціи, давало число, возможно болѣе близкое къ истинному среднему. Въ Россіи остановились на комбинаціи

$$T=\frac{VII+I+IX}{3}.$$

Но каждая изъ этихъ комбинацій даетъ результаты, нѣсколько уклоняющіеся отъ истиннаго суточнаго средняго. Въ метеорологической обсерваторіи Новороссійскаго университета получены слѣдующія поправки для нѣкоторыхъ комбинацій [1]):

	$\frac{1}{3}$(VII+I+IX)	$\frac{1}{3}$(VII+II+2.IX)	$\frac{1}{2}$(Max.+Min.)
январь . .	+0°.02	—0°.13	+0°.14
февраль . .	— 0.05	—0.01	—0.09
мартъ . .	—0.00	0.00	—0.21
апрѣль . .	— 0.13	—0.16	—0.22
май . . .	—0.08	—0.17	—0.27
іюнь . . .	—0.45	—0.22	—0.03
іюль . . .	—0.44	—0.33	+0.31
августъ . .	—0.13	—0.09	— 0.01
сентябрь .	—0.16	—0.18	+0.22
октябрь . .	—0.04	—0.01	+0.10
ноябрь . .	0.00	—0.14	+0.05
декабрь . .	+0.04	—0.06	+0.08
годъ . . .	—0.12	—0.13	+0.01.

Изучить годовой періодъ значитъ прослѣдить извѣстную законность въ послѣдовательномъ ходѣ температуры въ теченіе года. Эту послѣдовательность можно изучать, слѣдя за ходомъ температуры изо дня въ день, или соединяя отдѣльные дни въ болѣе или менѣе крупныя группы. На практикѣ соединяютъ дни по пятидневіямъ (пентады), десятидневіямъ (декады), мѣсяцамъ. Для наглядности можно годовой ходъ температуры выразить графически, откладывая по оси абсциссъ равныя части, выра-

[1]) См. Лѣтописи метеорологической обсерваторіи Новороссійскаго университета въ 1895 году. Одесса. 1896, стр. CCXXII.

Digitized by Google

жающія время (дни, пентады, декады, мѣсяцы), а по ординатамъ—соотвѣтствующія температуры.

Годовой ходъ температуры въ низшихъ слояхъ атмосферы долженъ, очевидно, зависѣть отъ широты мѣста, а также отъ физическихъ свойствъ земной поверхности (суша, океанъ), состоянія атмосферы (влажность воздуха, облачность) и, наконецъ, отъ высоты мѣста надъ уровнемъ моря. Въ Одессѣ, напримѣръ, годовой ходъ температуры выражается слѣдующими числами:

январь	—3°.0	іюль	23°.2
февраль	—1.9	августъ	22.2
мартъ	2.3	сентябрь . . .	17.2
апрѣль	8.8	октябрь . . .	11.6
май	16.1	ноябрь	5.0
іюнь	20.7	декабрь	—0.3
годъ	10.1	амплитуда . . .	26.2

Годовой ходъ, подобно суточному, характеризуется временемъ наступленія крайнихъ температуръ и амплитудой колебаній. Вообще, въ сѣверномъ полушаріи существуютъ слѣдующіе типы годового хода:

1) *Экваторіальный типъ* характеризуется малой амплитудой колебаній и стремленіемъ къ двумъ максимумамъ (послѣ равноденствій) и двумъ минимумамъ (послѣ солнцестояній):

внутренняя Африка .	29°.6 (апр.)	24.3 (авг.)	25.6 (окт.)	22.7 (дек.)
Батавія . .	26.4 (май)	25.7 (іюль)	26 4 (окт.)	25.3 (янв.)

Амплитуда во внутренней Африкѣ равна 6°.9, а въ Батавіи—1°.1.

2) *Тропическій типъ* съ однимъ максимумомъ и однимъ минимумомъ вскорѣ послѣ наивысшаго и наинизшаго стоянія солнца. Амплитуды колебаній невелики; вслѣдствіе того, что во время наивысшаго стоянія солнца выпадаютъ дожди, наивысшая температура бываетъ до времени наивысшаго стоянія солнца. Этотъ типъ наблюдается въ Индіи, въ Мексикѣ, внутри Сенегамбіи (max. въ маѣ) и на востокѣ южной Африки (max. въ ноябрѣ):

Digitized by Google

a) континентальный пунктъ:

Верхній Египетъ (22° с. ш.)

январь . . .	16°.3	амплитуда . 17°.8
іюнь	34.1	

b) морской пунктъ:

Островъ св. Елены (16° ю. ш.)

мартъ . . .	24°.4	амплитуда . 5°.7
августъ . . .	18.7	

3) *Типъ умѣреннаго пояса.* Максимумъ и минимумъ слѣдуютъ за наивысшимъ и наинизшимъ стояніемъ солнца. Амплитуда годовыхъ колебаній велика и, притомъ, увеличивается съ широтой. Переходное время отъ теплаго къ холодному (осень) и отъ холоднаго къ теплому (весна) пріобрѣтаетъ самостоятельный характеръ. Эти *четыре* времени года выступаютъ особенно рѣзко только въ средней части умѣреннаго пояса. Въ южной части, *субтропической*, тепло медленно нарастаетъ отъ зимы къ лѣту; напротивъ того, въ сѣверной (субполярной) части, тепло отъ зимы къ лѣту растетъ быстро, а потому весна, въ обоихъ случаяхъ теряетъ, болѣе или менѣе, свой самостоятельный характеръ. То же можно сказать и объ осени. Въ субтропическомъ поясѣ слѣдуетъ различать континентальныя и морскія станціи:

Багдадъ (33° с. ш.)

январь . . .	10°.5	амплитуда . 23°.3.
іюль	33.8	

Бермудскіе острова (32° с. ш.)

мартъ . . .	16°.5	амплитуда . 10°.2.
августъ . . .	26.7	

Собственно умѣренный поясъ отличается огромнымъ разнообразіемъ величины годовыхъ амплитудъ, что объясняется неравномѣрнымъ распредѣленіемъ суши и моря. Если будемъ перемѣщаться, вдоль какой-нибудь параллели, отъ западныхъ береговъ Европы къ востоку, вглубь Азіи, то замѣтимъ, что зимы становится суровѣе, лѣтніе мѣсяцы—жарче, а амплитуды годовыхъ колебаній быстро возрастаютъ:

Digitized by Google

	лѣто	зима	амплитуда
западный берегъ Ирландіи . .	+16°.2	+7.6	8.6
Харьковъ	+20.9	—8.6	29.5
Семипалатинскъ	+22.2	—17.5	39.7
Кяхта	+19.9	—26.6	46.5
Благовѣщенскъ	+21.4	—25.5	46.9
Сахалинъ	+16.8	—18.0	34.8.

Пункты, лежащіе на границѣ съ полярною областью, подчиняются такому же закону:

a) морской пунктъ:

Фаррерскіе острова

январь . . +3°.2
іюнь . . . +10.8 } амплитуда . 7°.6.

b) континентальный пунктъ:

Якутскъ

январь . . —44°.1
іюль . . . +19.8 } амплитуда . 63°.9.

Вообще, въ умѣренномъ поясѣ можно подмѣтить три группы. 1) Мѣста океанически-умѣреннаго характера. Сюда относятся острова и берега западной Европы. Эта группа отличается прохладной весной, очень теплой осенью, прохладнымъ лѣтомъ и умѣренной зимой. Minimum въ мартѣ. 2) Высоко-континентальный типъ—суровая зима, жаркое лѣто, весна и осень одинаковы. 3) Группа смѣшаннаго характера. Сюда относятся восточные берега материковъ Азіи и Америки. Отличается очень холодной зимой, прохладными весной и лѣтомъ, сравнительно теплой осенью.

4) *Полярный типъ* характеризуется значительной амплитудой колебаній. Минимумъ наступаетъ къ концу полярной ночи; максимумъ всегда бываетъ въ іюлѣ:

Новая Земля (72°.8 с. ш.)

февраль . . —18°.4
іюль . . . +3.9 } амплитуда . 22°.3.

Земля Франца-Іосифа (81° с. ш.)

февраль . . —32°.4
іюль . . . +0.6 } амплитуда . 33°.0.

Digitized by Google

Сѣверъ Гренландіи (82° с. ш.)

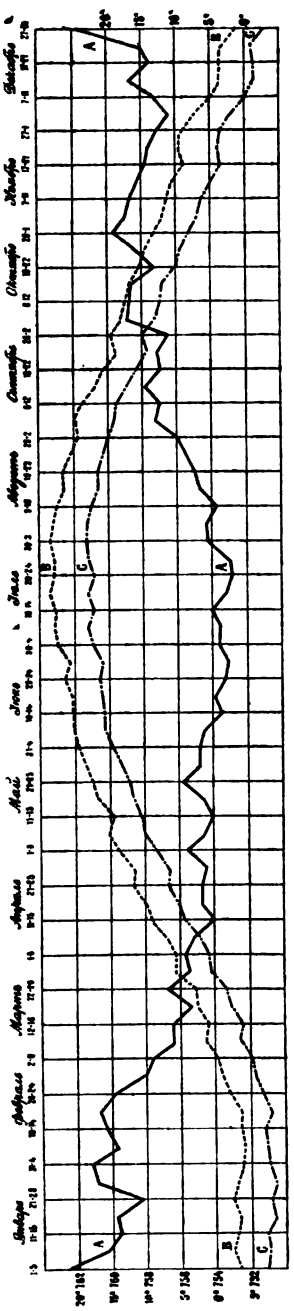
февраль . . —40°.7 } амплитуда . 43°.5.
іюль . . . +2.8 }

Кромѣ разсмотрѣнныхъ четырехъ основныхъ типовъ, слѣдуетъ различать еще два вида климатовъ: континентальный и морской. Эти два вида возможны во всѣхъ широтахъ. Въ океаническомъ типѣ амплитуда колебаній уменьшена, а въ континентальномъ увеличена. На восточныхъ берегахъ Азіи и Америки, въ болѣе высокихъ широтахъ, господствуетъ смѣшанный типъ: зимою—континентальный, лѣтомъ—морской. Это объясняется тѣмъ, что, въ теченіе зимы, эти мѣстности находятся подъ вліяніемъ воздушныхъ теченій, идущихъ изъ сильно охлажденныхъ центральныхъ частей континента, а лѣтомъ—подъ дѣйствіемъ морскихъ вѣтровъ, приносящихъ тепло и влагу. Въ болѣе низкихъ широтахъ, океанъ умѣряетъ температуры и дѣлаетъ климатъ ровнѣе и устойчивѣе. Поднятіе мѣста надъ уровнемъ моря дѣйствуетъ совершенно такъ же на амплитуды годовыхъ колебаній, какъ близость океана. Вообще, соображенія о годовомъ ходѣ температуры можно составить a priori, если только даны географическое положеніе, степень облачности, положеніе мѣста относительно океана и господствующіе вѣтры. Всѣ тѣ обстоятельства, которыя ослабляютъ инсоляцію и уменьшаютъ силу ночного лучеиспусканія, уменьшаютъ амплитуды, т. е. дѣйствуютъ, на климатъ данной мѣстности, умѣряющимъ образомъ. Вильдъ построилъ для Россіи особую карту *изоамплитудъ*, на которой наглядно можно видѣть зависимость числовыхъ величинъ амплитудъ отъ географическихъ факторовъ [1]).

Кривая годового хода и возвраты тепла и холода. Если мы, графически, вычертимъ ходъ температуры по днямъ или по пятидневіямъ, то не получимъ кривой, которая *плавно* подымается отъ зимы къ лѣту и столь же плавно опускается отъ лѣта къ зимѣ. Если даже подобная кривая построена на основаніи многолѣтнихъ наблюденій, то на ней замѣтимъ рядъ зигзаговъ, указывающихъ на то, что, въ теченіе года, существуетъ рядъ возвратовъ тепла (въ холодное время года) и рядъ возвратовъ

[1]) Вильдъ. Температуры Россійской Имперіи. Спб. 1881.

Digitized by Google

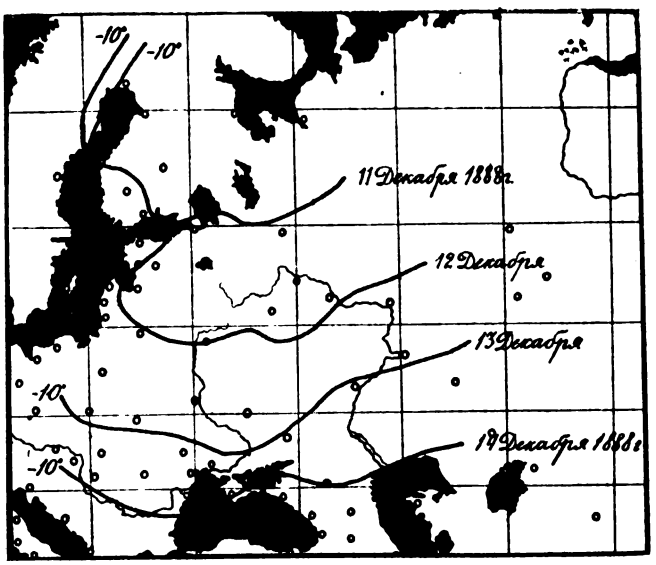


Фиг. 121.

холода (въ теплые мѣсяцы). На фигурѣ 121 представленъ годовой ходъ температуры по пятидневіямъ въ Одессѣ за 20 лѣтъ (кривая *CC*, шкала температуръ справа) и за 27 лѣтъ (кривая *BB*, шкала температуръ слѣва). Эти возвраты тепла и холода, или своего рода волны тепла и волны холода, представляютъ весьма интересное явленіе. Нѣкоторыя изъ нихъ падаютъ на извѣстные моменты года, другія являются спорадически и могутъ быть прослѣжены послѣдовательно на большомъ пространствѣ. Многія волны холода зарождаются на крайнемъ сѣверѣ и перекатываются къ югу, юго-востоку и юго-западу, вызывая на своемъ пути значительное иногда пониженіе температуры. Примѣромъ можетъ служить, холодная, декабрьская волна 1888 года, надвинувшаяся съ сѣвера. На фигурѣ 122 можно видѣть, какъ южная граница 10-тиградуснаго мороза, постепенно распространяясь къ югу, достигла, наконецъ, Чернаго моря и вызвала замерзаніе Одесскаго порта. Нѣкоторыя изъ этихъ волнъ привязаны, такъ сказать, къ опредѣленнымъ днямъ года: пониженіе температуры въ серединѣ февраля (вторая зима), возвраты холода въ серединѣ мая и въ концѣ іюля, повышеніе температуры въ концѣ сентября и началѣ октября (второе лѣто, бабье лѣто). Но особенное вниманіе обращали всегда на возвраты холода въ половинѣ мая (въ среднемъ—10, 11 и 12 мая). Этотъ возвратъ холода особенно опасенъ для

Digitized by Google

сельскаго хозяйства, такъ какъ онъ совпадаетъ съ начальными стадіями развитія растительности; между тѣмъ, въ это время, атмосфера болѣе теплопрозрачна, чѣмъ лѣтомъ, почва еще не успѣла накопить достаточнаго запаса тепла, воздухъ довольно сухъ, верхніе слои атмосферы имѣютъ весьма низкую температуру. Наблюденія, впрочемъ, обнаружили, что вѣроятность мороза довольно равномѣрно распредѣлена не только между 10 и 12 мая, но и въ теченіе всего мѣсяца. Assmann показалъ, что



Фиг. 122.

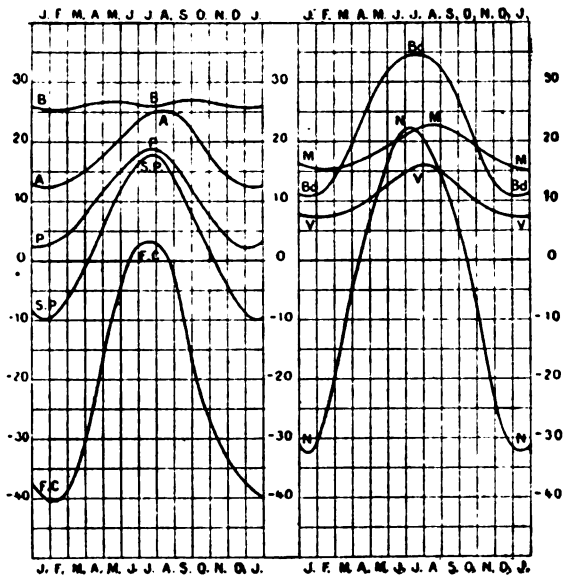
майская волна холода часто зарождается въ средней Швеціи и оттуда распространяется радіально къ Балтійскому морю, сѣверной Германіи, Рейнскимъ провинціямъ, восточной Франціи, Австріи и Россіи. Причины образованія этихъ волнъ до сихъ поръ невыяснены, но, очевидно, онѣ имѣютъ общій характеръ.

Суточныя и годовыя колебанія въ зависимости отъ времени можно выразить кривыми, откладывая по оси абсциссъ время (часы сутокъ или дни года), а на ординатахъ — соотвѣтствующія температуры. На фигурѣ 123 представленъ годовой ходъ температуры въ слѣдующихъ пунктахъ:

Digitized by Google

Батавія (6° 7′ ю. ш.) . . . кривыя *BB*,
Алжиръ (36° 47′ с. ш. . . . » *AA*,
Парижъ (48° 50′ с. ш. . . » *PP*,
Петербургъ (59° 56′ с. ш.) . » *S.P*,
Фортъ Conger (81° 44′ с. ш. » *F.C*.

Эти кривыя ясно обнаруживаютъ вліяніе широты на характеръ годового хода температуры. На томъ же чертежѣ можно видѣть характеръ континентальнаго и морскаго климатовъ:



Фиг. 123.

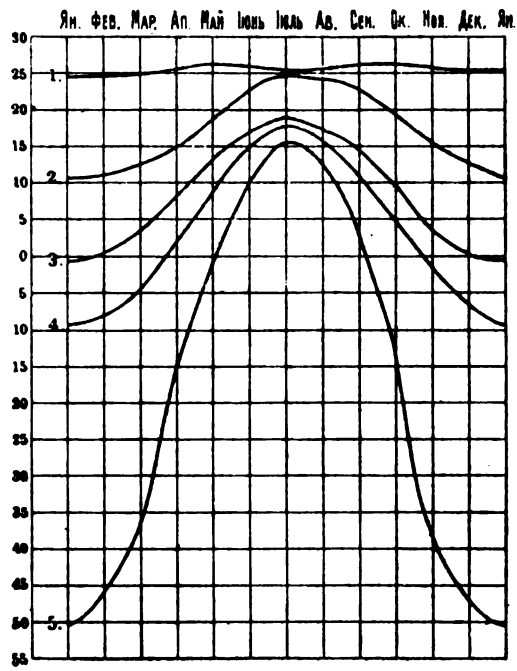
Багдадъ (32° 31′ с. ш.) . . . кривая *Bd*,
Фуншаль (Мадейра, 32° 38′ с. ш.) » *MM*,
Валенція (51° 55′ с. ш.) . . . » *VV*,
Нерчинскъ (51° 58′ с. ш.) . . » *NN*.

Чертежъ 124 даетъ годовой ходъ въ слѣдующихъ пунктахъ:

Тринидадъ (10°.2 с. ш.) . . кривая 1,
Палермо (38°.2 с. ш.) . . . » 2,
Берлинъ (52°.5 с. ш.) . . . » 3,
Петербургъ (59°.9 с. ш. . . » 4,
Верхоянскъ (67°.8 с. ш. . . » 5

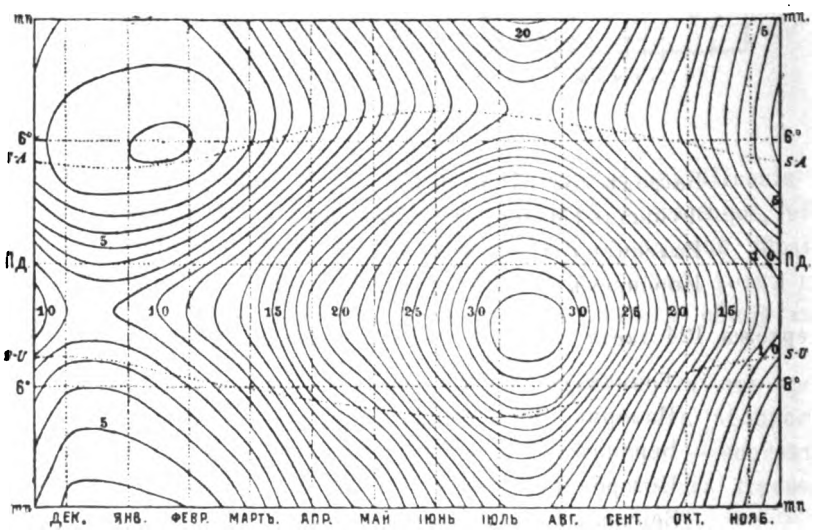
Digitized by Google

Но можно графически представить на плоскости зависимость температуры отъ двухъ перемѣнныхъ (часовъ дня и времени года) при помощи системы изоплетъ. На фигурѣ 125 представлена карта изоплетъ для Мадрида.



Фиг. 124.

Географическое распредѣленіе тепла въ нижнихъ слояхъ земной атмосферы. Давно уже были сдѣланы попытки рѣшить этотъ вопросъ аналитическимъ путемъ. Но анализъ не можетъ обнять и выразить количественно всѣ разнообразные факторы, какъ общіе такъ и мѣстные, участвующіе въ установленіи температуры въ опре-



Фиг. 125.

Digitized by Google

дѣленной точкѣ атмосферы. Въ математическія формулы мы можемъ ввести только тѣ факторы, которые поддаются измѣренію. Такими основными факторами являются, главнымъ образомъ, суточное и годовое движеніе земли, а также солнечная постоянная. Этими данными опредѣлится распредѣленіе *солнечнаго* климата на *границѣ* атмосферы. Если въ наши формулы введемъ величину коэффиціента прозрачности атмосферы, то получимъ теоретическое распредѣленіе солнечной инсоляціи на *днѣ* воздушнаго океана. Но, очевидно, что результаты этихъ изслѣдованій далеко не могутъ совпадать съ дѣйствительнымъ распредѣленіемъ тепла, зависящимъ отъ множества другихъ факторовъ. Подобнаго рода работы, имѣющія лишь теоретическое значеніе, даютъ намъ общую схему географическаго распредѣленія энергіи, получаемой отъ солнца. На основаніи этихъ общихъ законовъ распредѣленія свѣто-тепловой энергіи, можно составить общую, тоже теоретическую, схему распредѣленія другихъ процессовъ, совокупностью которыхъ опредѣляется физическая жизнь нашей планеты, взятой въ ея цѣломъ.

Существуютъ работы и въ другомъ направленіи. Пытались выразить общее распредѣленіе тепла въ нижнихъ слояхъ земной атмосферы эмпирическими формулами, коэффиціенты которыхъ можно вычислить изъ наблюденій. Такого рода работы принадлежатъ Spitaler'у, Angot и другимъ. Но, для цѣлей климатологіи, важно изучать не только общіе законы, но и мельчайшія детали въ распредѣленіи тепла, какъ на земномъ шарѣ вообще, такъ и въ отдѣльныхъ его мѣстностяхъ въ частности. Эти детали не укладываются въ рамки математической формулы, вслѣдствіе ихъ сложности и подвижности. Остается третій путь,—путь наблюденій и возможно подробная ихъ разработка.

Изучать распредѣленіе тепла въ нижнихъ слояхъ земной атмосферы можно съ различныхъ точекъ зрѣнія. Во-первыхъ, можно изслѣдовать распредѣленіе тепла въ извѣстный абсолютный моментъ, положимъ, въ 7 час. утра (Гринвичскаго времени) извѣстнаго дня (напримѣръ, 1 января 1907 года). Для этого, нужно собрать наблюденія, произведенныя въ этотъ моментъ на всемъ земномъ шарѣ и сравнить ихъ между собою. Для наглядности, наносятъ на карту всѣ станціи, изъ которыхъ доставлены наблюденія и возлѣ каждой станціи пишутъ измѣ-

Digitized by Google

ренную на этой станціи температуру; станціи, имѣющія одну и ту же температуру, соединяютъ кривыми линіями (изотермы), проводя ихъ черезъ каждые два три и болѣе градусовъ. При этомъ приходится прибѣгать къ методу графической интерполяціи. Но различныя станціи лежатъ на разныхъ высотахъ надъ уровнемъ моря, а между тѣмъ, извѣстно, что температура съ высотою постепенно убываетъ. Поэтому, зная высоту отдѣльныхъ станцій, при посредствѣ особыхъ таблицъ, показывающихъ уменьшеніе температуры съ высотою, приводятъ всѣ температуры къ одному и тому же уровню, чаще всего къ уровню моря. Полученная карта дастъ карту *мгновенныхъ* изотермъ для выбраннаго нами момента времени. Къ сожалѣнію, такихъ картъ, составленныхъ для всего земного шара, не имѣется вовсе, а между тѣмъ, онѣ дали бы намъ яркую картину непрерывнаго хода въ послѣдовательномъ распредѣленіи тепла на земной поверхности. Примѣромъ такой карты, составленной для Россіи, можетъ служить карта, изображенная на фигурѣ 122 (стр. 444), а также на фигурѣ 126 [1]).

Точно такимъ же путемъ можемъ составить карты *суточныхъ*, *пятидневныхъ*, *мѣсячныхъ* и *годовыхъ* изотермъ, нанося на карту и приводя къ уровню моря, дневныя, пятидневныя, мѣсячныя и годовыя среднія температуры. Ограничимся самымъ общимъ обозрѣніемъ подобныхъ картъ.

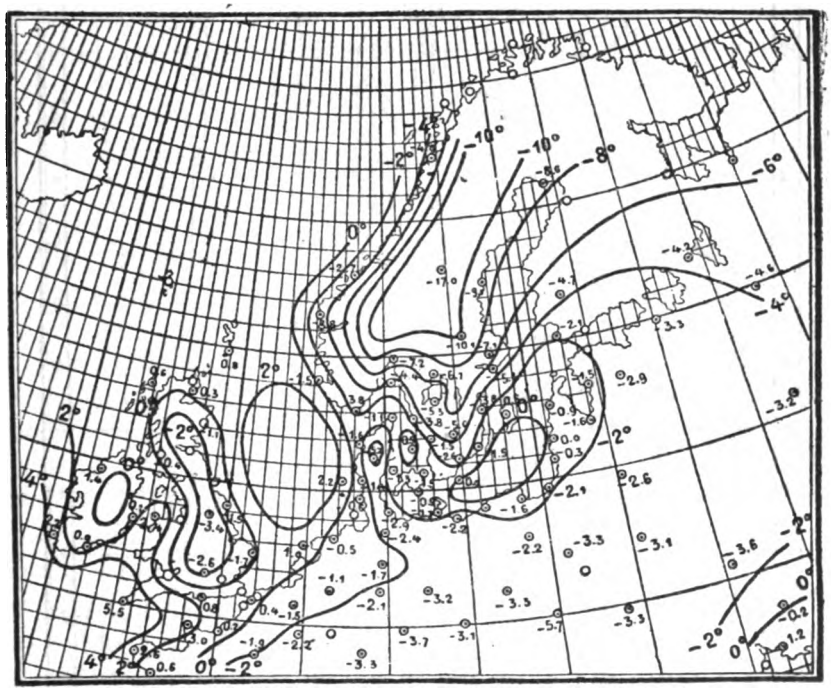
На фигурахъ 127 и 129 даны карты январьскихъ и іюльскихъ изотермъ въ проекціи Меркатора, а на фигурахъ 128 и 130—въ полярной проекціи. Изъ этихъ картъ видно, что ходъ изотермическихъ линій, вообще говоря, весьма сложенъ. Въ нѣкоторыхъ мѣстахъ онѣ образуютъ даже замкнутые контуры, окаймляющіе области высокихъ или низкихъ температуръ. Хотя эти изотермы проведены черезъ каждые 4°, но онѣ расположены неодинаково густо въ различныхъ частяхъ карты. Подобное неравномѣрное распредѣленіе изотермическихъ линій есть прямое слѣдствіе крайне неравномѣрнаго распредѣленія температуры на земной поверхности. Въ частности, въ январѣ (фиг. 127) вдоль экватора тянется поясъ наиболѣе высокихъ температуръ,

---

[1]) Строго говоря, эту карту нельзя назвать *мгновенной*. Она составлена на основаніи наблюденій общей метеорологической сѣти станцій, на которыхъ наблюденія производятся въ 7 час. *мѣстнаго* времени.

Digitized by Google

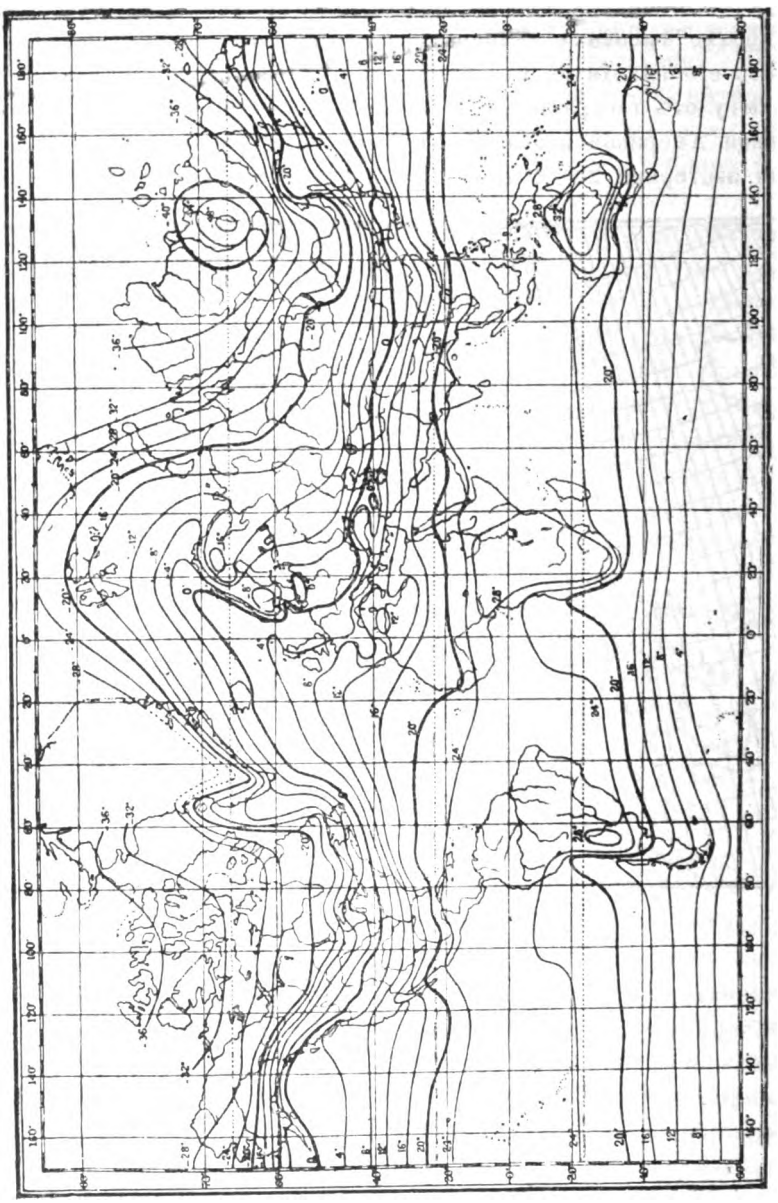
ограниченный, съ сѣвера и юга, изотермами 24°. Это поясъ наиболѣе высокихъ температуръ или *термическій экваторъ*. Одна часть его находится къ сѣверу, другая, болѣе значительная,— къ югу отъ географическаго экватора. Внутри этого пояса, надъ южной Америкой и южной Африкой, лежатъ области, окаймленныя изотермой 28°, а надъ Новой Голландіей средняя мѣсячная



Фиг. 126

температура въ январѣ достигаетъ 32°. Къ сѣверу и къ югу отъ термическаго экватора расположены изотермы въ постепенно убывающемъ порядкѣ: 20°, 16°, 12° и т. д.; другими словами, температура къ сѣверу и къ югу убываетъ. Но въ южномъ полушаріи, изотермы менѣе изогнуты, температура убываетъ правильнѣе въ зависимости отъ широты. Нѣкоторую изогнутость къ экватору обнаруживаютъ изотермы 24°, 20°, 16°, 12° у западныхъ береговъ южной Америки, южной Африки и, отчасти, Новой Голландіи; слѣдовательно, западные берега указанныхъ материковъ холоднѣе восточныхъ, что является слѣдствіемъ, какъ уви-

Digitized by Google



Фиг. 127.

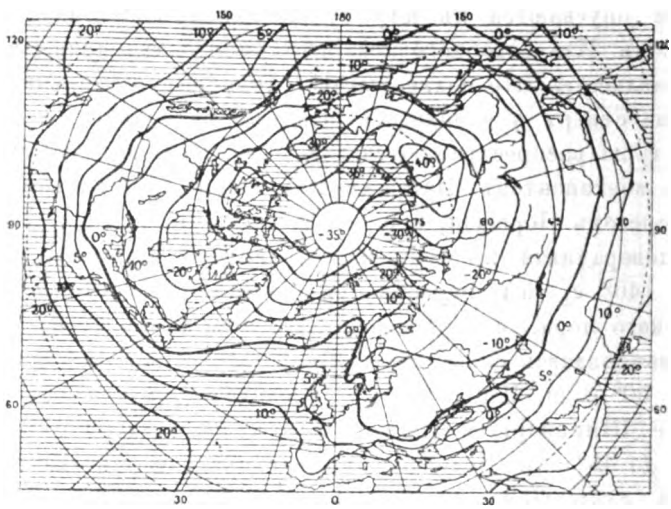
Digitized by Google

димъ далѣе, направляющихся къ экватору холодныхъ морскихъ теченій. Болѣе правильное распредѣленіе изотермъ южнаго полушарія есть слѣдствіе того, что южное полушаріе имѣетъ болѣе однообразную, въ физическомъ отношеніи, поверхность; оно, по преимуществу, покрыто водой. Болѣе сложный характеръ имѣютъ изотермы сѣвернаго полушарія. Онѣ крайне изогнуты, сдвинуты. Тѣмъ не менѣе, среди этой сложности можно подмѣтить нѣкоторую законность. Изотермы января вообще подымаются къ сѣверу у западныхъ береговъ Стараго и Новаго Свѣта и опускаются къ югу въ восточныхъ частяхъ этихъ материковъ. Изъ подобнаго хода изотермическихъ кривыхъ слѣдуетъ заключить, что болѣе высокія температуры проникаютъ далеко на сѣверъ у западныхъ береговъ материковъ, а низкія температуры распространяются далеко на югъ въ восточныхъ частяхъ континентовъ. Напримѣръ, изотерма 0°, у сѣверо-западныхъ береговъ Норвегіи, переходитъ даже 70° с. ш.; затѣмъ, круто поворачивая къ ЮВ, она проходитъ нѣсколько южнѣе Одессы (46° с. ш.), пересѣкаетъ Азовское и среднюю часть Каспійскаго моря, и въ средней Азіи опускается до 35° с. ш.; далѣе, направляясь снова къ ССВ, у береговъ Америки доходитъ до 50° с. ш. Изотерма—20° проходитъ, съ одной стороны, сѣвернѣе Шпицбергена (80° с. ш.), а на востокѣ Азіи опускается до 45° с. ш. Подобное анормальное распредѣленіе тепла является слѣдствіемъ неравномѣрнаго распредѣленія суши и океана. Океанъ умѣряетъ температуру западныхъ береговъ материковъ; сильныя охлажденія суши способствуютъ сильному изгибу изотермъ къ югу. Кромѣ того, у западныхъ береговъ материковъ, болѣе высокія температуры въ январѣ слѣдуетъ приписать господствующимъ здѣсь воздушнымъ (юго-западнымъ) и морскимъ теченіямъ (Гольфштремъ въ Атлантическомъ океанѣ, Куро-Сиво въ Тихомъ) и общему поверхностному стремленію водъ отъ юго-запада къ сѣверо-востоку. Средняя январская температура въ сѣверномъ полушаріи, постепенно понижаясь, достигаетъ крайнихъ низкихъ величинъ на сѣверо-востокѣ Азіи, гдѣ она падаетъ до—48°. Въ южномъ полушаріи, крайняя, отмѣченная на картѣ, изотерма 4° лежитъ между параллелями 50°—60° ю. ш. Фигура 128 даетъ тѣ же январскія изотермы въ полярной проекціи.

При переходѣ къ февралю, марту и т. д. вся система изо-

Digitized by Google

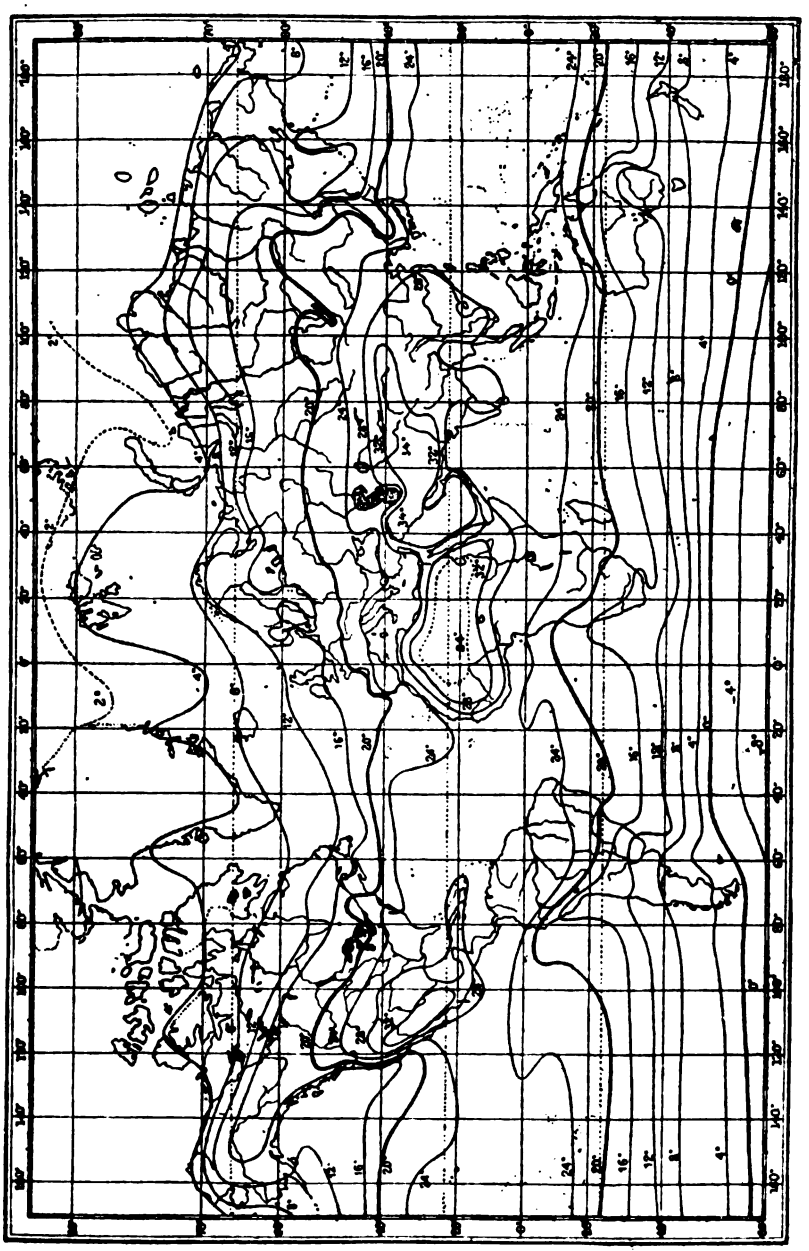
термъ начинаетъ преобразовываться; термическій экваторъ, а вслѣдъ за нимъ, и вся система изотермъ перемѣщаются къ сѣверу. Изогнутости постепенно сглаживаются, измѣняютъ свой характеръ, и къ іюлю вся картина совершенно мѣняется (фиг. 129). Большая часть термическаго экватора находится къ сѣверу отъ экватора. Изотерма 24° въ средней Азіи достигаетъ 48° с. ш. и только надъ Атлантическимъ и Тихимъ океанами падаетъ до 20° с. ш. Внутри термическаго экватора обнаруживаются области съ очень высокой температурой, окаймленныя изотер-



Фиг. 128.

мами 34° (Сахара, Аравія, Персія) и 32° (въ Сѣверной Америкѣ между 20° и 40° с. ш.). Зимняя континентальная выпуклость январскихъ изотермъ къ югу смѣняется ихъ сильной выпуклостью къ сѣверу надъ восточной частью Азіатскаго материка. Вообще, въ іюлѣ воздухъ надъ сушей теплѣе океаническаго. Напримѣръ, изотерма 20° надъ Тихимъ океаномъ проходитъ подъ 40° с. ш., а на востокѣ Азіи переходитъ 60° с. ш. Изотерма 0° вышла въ сѣверномъ полушаріи изъ сферы наблюденій. Крайняя, видимая на картѣ, изотерма равна 2°. Въ южномъ полушаріи, южнѣе 50° ю. ш., явилась изотерма —4° и даже —8°. Азіатскій полюсъ холода перемѣстился къ Карскому морю. Подобное распредѣленіе изотермъ совершенно понятно. Въ іюлѣ, сильному нагрѣванію подвергаются континентальныя части Ста-

Digitized by Google

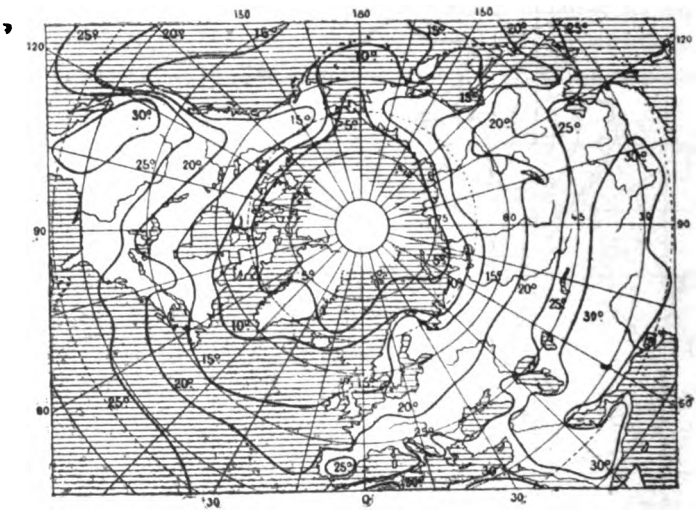


Фиг. 129.

Digitized by Google

раго и Новаго Свѣта, а море дѣйствуетъ охлаждающимъ и умѣряющимъ образомъ.

Фигура 130 даетъ іюльское распредѣленіе температуры въ полярной проекціи.

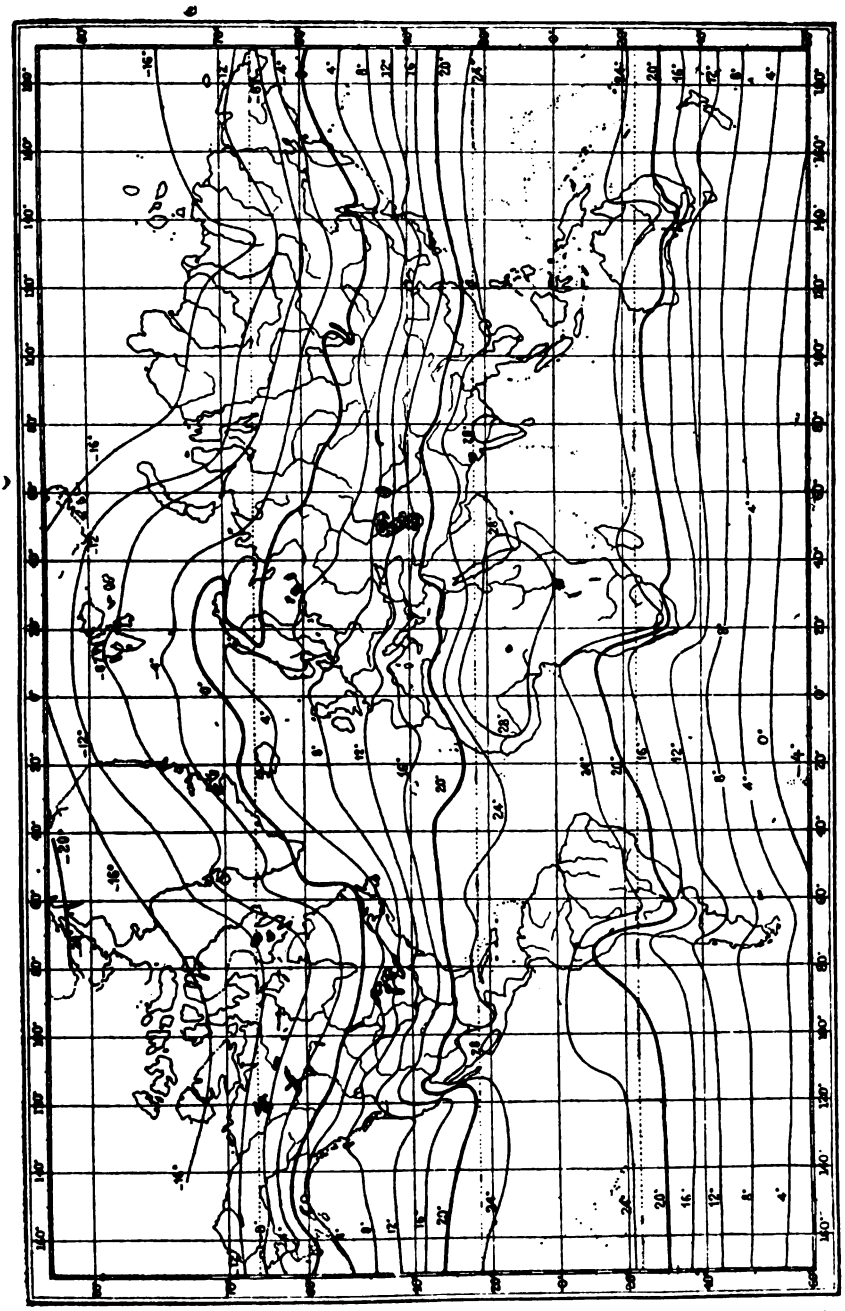


Фиг. 130.

Среднее *годовое* распредѣленіе тепла можно видѣть на фиг. 131. Изъ этой карты видно, что, въ общемъ, въ умѣренныхъ и высшихъ широтахъ сѣвернаго полушарія, западные берега теплѣе восточныхъ; въ тѣхъ же широтахъ южнаго полушарія имѣетъ мѣсто обратное соотношеніе.

Подобныя, болѣе детальныя, карты изотермъ составлены также и для отдѣльныхъ государствъ и ихъ частей. Для Россіи такія карты построены Главной Физической Обсерваторіей и обнародованы въ сочиненіи Вильда «О температурахъ Россійской Имперіи» и въ «Климатическомъ Атласѣ», изданномъ въ 1899 году, по случаю 50-лѣтія существованія обсерваторіи. Для юго-запада Россіи подобныя карты смотр. А. Клоссовскій «Матеріалы для климатологіи юго-запада Россіи». Одесса, 1898.

Digitized by Google

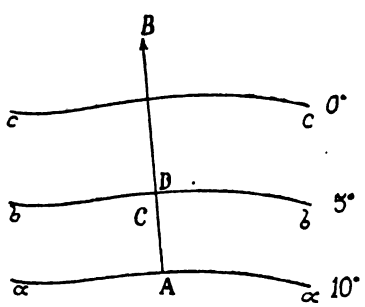


Фиг. 131.

Digitized by Google

Термометрическій градіентъ и его опредѣленіе. Мы сказали раньше, что изотермы, проведенныя черезъ опредѣленное число градусовъ, расположены на картѣ не одинаково густо. Очевидно, чѣмъ гуще располагаются изотермы, тѣмъ быстрѣе измѣняется температура при переходѣ отъ одной точки земной поверхности къ другой. Степень измѣненія температуры измѣряется *градіентомъ*. Термометрическимъ градіентомъ называютъ измѣненіе температуры по нормали къ изотермѣ, проведенной въ сторону убывающей температуры, на одинъ градусъ меридіана (1° меридіана=111.1 километра). Терминъ «градіентъ» совмѣщаетъ въ себѣ два понятія: величина градіента и его направленіе. Подъ направленіемъ градіента предполагаютъ уголъ, составленный нормалью къ изотермѣ съ меридіаномъ даннаго мѣста. Если, напримѣръ, извѣстно, что величина градіента равна 1°.7, а направленіе составляетъ 37°, считая отъ точки сѣвера къ востоку, то это будемъ обозначать символомъ

$$G=1°.7\ (N37°E).$$



Фиг. 132.

Чтобы опредѣлить градіентъ въ точкѣ A (фиг. 132), нужно изъ этой точки провести нормаль AB къ изотермѣ aa; по этой нормали отложить, по масштабу, длину AC=111,1 километра и опредѣлить, путемъ графической интерполяціи, температуру въ точкѣ C. Допустимъ, что длина линіи AD=140 кил., а AC=111.1 килом.; такимъ образомъ,

на протяженіи 140 килом., температура уменьшается на 5°,
а » » 111.1 » » » » x;

$$x:5=111.1:140$$

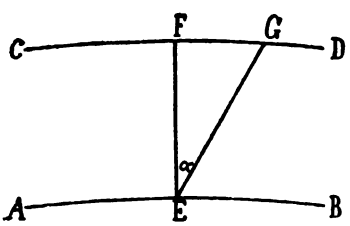
$$x\ (\text{градіентъ})=3°.96.$$

Очевидно, что способъ этотъ основанъ на томъ допущеніи, что температура, при переходѣ отъ одной изотермы къ другой, лежащей на томъ же уровнѣ, измѣняется, на небольшомъ протяженіи, равномѣрно и пропорціонально измѣненію разстоянія.

Digitized by Google

Въ дальнѣйшемъ изложеніи мы увидимъ, что распредѣленіе и другихъ метеорологическихъ элементовъ на земной поверхности выражается также системами изолиній (изобаты, изонефы, изогоны и т. д.). Понятіе о градіентѣ и способъ его опредѣленія, изложенный выше, очевидно примѣнимъ и къ этимъ системамъ. Напримѣръ, *барометрическимъ градіентомъ* называютъ измѣненіе давленія, взятаго на одномъ и томъ же уровнѣ, по нормали къ изобарѣ, на единицу разстоянія въ сторону падающаго давленія. Чтобы опредѣлить барометрическій градіентъ, нужно имѣть карту изобаръ. Можетъ случиться, что карта изолиній намъ не дана. Въ этомъ случаѣ, возможно вычислить градіентъ, если только извѣстна величина даннаго элемента (напр., давленія) въ двухъ сосѣднихъ точкахъ. Но, предварительно, докажемъ, что если намъ извѣстно измѣненіе (g) элемента по нормали (градіентъ), то измѣненіе g_1 того же элемента по другому направленію, составляющему съ нормалью уголъ α,

$$g_1 = g\,Cos\alpha.$$



Фиг. 133.

И дѣйствительно. Пусть (фиг. 133) AB и CD изолиніи, $EF = a$—нормаль къ кривой AB, $EG = b$ [1]) — направленіе, составляющее съ нормалью уголъ $FEG = \alpha$, t — величина элемента въ точкѣ E, t_1 — величина того же элемента въ точкѣ F. Очевидно,

$$g = \frac{t - t_1}{a} \quad \text{и} \quad g_1 = \frac{t - t_1}{b};$$

$$g : g_1 = b : a; \text{ но } a = b\,Cos\alpha,$$

слѣдовательно,

$$g_1 = g\,Cos\alpha.$$

Зная это, положимъ (фиг. 134), что

t—величина элемента въ точкѣ A,
t_1— » » » » B,

[1]) a и b измѣрены въ длинѣ градуса меридіана.

Digitized by Google

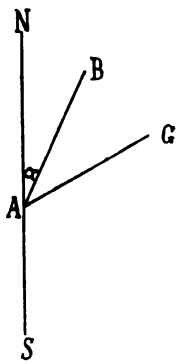
$AB=a$—разстояніе между A и B, измѣренное въ прежнихъ единицахъ,

NS—направленіе меридіана,

$\angle NAB=\alpha$—азимутъ точки B,

AG—направленіе и величина градіента,

$\angle NAG=m$.



Фиг. 134

Измѣненіе элемента по направленію AB

$$g_1=\frac{t-t_1}{a}.$$

Но мы доказали, что

$$g_1=gCos(m-\alpha),$$

$$\frac{t-t_1}{a}=gCos(m-\alpha). \qquad (1)$$

Послѣднее уравненіе содержитъ двѣ неизвѣстныя величины: g и m; необходимо составить другое уравненіе съ тѣми же неизвѣстными. Положимъ, что по сосѣдству имѣется и другой пунктъ C, для котораго величина элемента равна t_2, $AC=b$ и азимутъ $NAC=\beta$. Для этого пункта

$$\frac{t-t_2}{b}=gCos(m-\beta). \qquad (2)$$

Изъ уравненій (1) и (2) можно опредѣлить g и m. Дадимъ этимъ уравненіямъ слѣдующій видъ:

$$\frac{t-t_1}{a}=gCosmCos\alpha+gSinmSin\alpha,$$

$$\frac{t-t_2}{b}=gCosmCos\beta+gSinmSin\beta.$$

Пусть

$$gCosm=x,\ gSinm=y;$$

$$\frac{t-t_1}{a}=xCos\alpha+ySin\alpha,$$

$$\frac{t-t_2}{b}=xCos\beta+ySin\beta.$$

Digitized by Google

Рѣшая эти два уравненія, найдемъ x и y. Тогда

$$\frac{y}{x}=tangm \text{ и } g=\sqrt{x^2+y^2}.$$

Изъ этихъ двухъ уравненій можно опредѣлить величину и направленіе градіента. Если по сосѣдству имѣется не двѣ, а нѣсколько станцій, то g и m вычисляются по способу наименьшихъ квадратовъ.

Полюсъ холода. Изъ карты январскихъ изотермъ видно, что изотермы расположены, отъ экватора къ полюсамъ, въ нисходящемъ порядкѣ и наиболѣе низкія среднія мѣсячныя температуры отмѣчены на сѣверо-востокѣ Азіи. Это, такъ называемый, сибирскій *полюсъ холода*. Весьма низкія температуры наблюдаются также въ Гренландіи и на Гриннелевой землѣ. Для характеристики температурныхъ условій на этомъ крайнемъ сѣверѣ, приведемъ данныя, вычисленныя нами по «Лѣтописямъ Главной Физической обсерваторіи» для Верхоянска (13 лѣтъ) и Якутска (16 лѣтъ).

	Якутскъ 62°1′ с. ш., 129°43′ в д. отъ Гринвича			Верхоянскъ 67°33′ с. ш., 133°24′ в. д. отъ Гринвича		
мѣсяцы	среднее	макс.	мин.	среднее	макс.	мин.
январь	—44°.09	—9°.1	—63° 0	—49°.63	—20°.2	—67°.8
февраль	—35.14	—10.1	— 64.4	—43.63	— 9.9	— 69.8
мартъ	—22.16	— 4.4	— 48.9	—29.53	3.1	— 60.8
апрѣль	— 7.51	12.4	— 39.0	—13.72	11.0	— 54.5
май	6.16	27.7	— 15.9	2.45	20.1	— 34.2
іюнь	16.54	33.1	— 3.6	13.31	31.5	— 7.3
іюль	19.78	36.0	3.3	15.65	33.7	— 1.3
августъ	15.28	33.6	— 2.6	9.90	29.1	— 6.8
сентябрь	6.42	25.7	— 10.8	2.13	22.3	— 16.3
октябрь	—8.03	10.2	— 35.2	—15.15	9.1	— 44.6
ноябрь	—27.30	1.7	— 51.2	—36.98	0.3	— 58.0
декабрь	—39.64	—3.4	— 57.9	—47.04	—7.5	— 64.5
годъ	— 9.98	36.0	— 64.4	— 16.2	33.7	— 69.8
ср. ампл.	63.87	—	—	65.28	—	—
абс. »	—	100.4		—	103.5	

Digitized by Google

Къ этимъ таблицамъ присоединимъ [1]) данныя для Гриннелевой земли (81° с. ш.) и западной Гренландіи (78° с. ш.).

мѣсяцы	Гриннелева земля (81° с. ш.)			Зап. Гренландія (78° с. ш.)
	средняя	minimum	maximum	средняя
январь	—39°.0	—50°.1	—23°.1	—31°.3
февраль	— 40.1	— 52.3	— 20.6	— 31.4
мартъ	— 33.5	— 45.1	— 6.7	— 30.6
апрѣль	— 25.3	— 41.2	— 10.1	— 22.0
май	— 10.0	— 25.0	2.1	— 8.0
іюнь	0.4	— 10.7	11.7	0.6
іюль	2.8	— 1.5	11.4	4.0
августъ	1.0	— 9.1	8.8	0.7
сентябрь	— 9.0	— 23.6	— 1.1	— 8.5
октябрь	— 22.7	— 35.1	— 10.0	— 17.6
ноябрь	— 30.9	— 43.3	— 18.4	— 24.9
декабрь	— 33.4	— 46.8	— 14.7	— 29.3
годъ	— 20.4	— 52.3	— 11.7	— 16.9
ср. ампл.	— 46.9	—	—	35.4
абс. »	64.0	—	—	—

Изъ этихъ таблицъ видно, что средняя температура января въ Верхоянскѣ равна—49°.63. Отрицательныя среднія мѣсячныя температуры сплошь продолжаются до апрѣля. Только май, іюнь, іюль, августъ и сентябрь имѣютъ положительныя температуры. Средняя годовая=—16°.2. Чтобы можно было судить, насколько низка эта температура, замѣтимъ, что въ Одессѣ средняя температура самаго холоднаго мѣсяца января=—3°.2 и что термометръ у насъ никогда не опускается ниже—24°. На западномъ берегу Гренландіи, средняя температура января—31°.3. Морозы продол-

[1]) Врейковъ. «Метеорологическій Вѣстникъ», 1897, №№ 11 и 12.

Digitized by Google

жаются вплоть до мая, средняя температура котораго равна—8°. Свободны отъ мороза только іюнь, іюль и августъ. Сентябрь имѣетъ уже температуру—8°.5. Средняя годовая равна—16°.9. На Гриннелевой землѣ наиболѣе низкая средняя мѣсячная февраля равна—40°.1. Только три мѣсяца (іюнь, іюль и августъ) имѣютъ среднюю температуру выше нуля. Средняя годовая равна—20°.4. Въ Верхоянскѣ, въ январѣ, температура можетъ понижаться до—69°.8. Максимальная температура равна—9°.9. Морозы возможны во всѣ мѣсяцы года; лѣтомъ въ Верхоянскѣ жара доходитъ до+33°.7. Амплитуда колебаній температуры въ Верхоянскѣ равна 103°.5. На Гриннелевой землѣ минимальная температура равна—52°.3, максимальная въ іюнѣ+11°.7. Колебанія возможны въ предѣлахъ 64°, т. е. почти вдвое меньше, чѣмъ въ Верхоянскѣ. Спрашивается, какую область считать полюсомъ холода? Это зависитъ отъ того, что считать полюсомъ холода. Если полюсомъ холода считать ту область, гдѣ средняя годовая достигаетъ minimum'a, то полюсъ холода на Гриннелевой землѣ; если считать полюсомъ холода ту область, гдѣ средняя температура отдѣльныхъ мѣсяцевъ достигаетъ minimum'a или гдѣ возможно наибольшее абсолютное паденіе температуры, то полюсъ холода—Верхоянскъ; если, наконецъ, полюсомъ холода считать тѣ мѣста, гдѣ особенно упорны холода въ теченіе всего года, гдѣ они равномѣрно распредѣлены и сковываютъ землю весь годъ, то, съ этой точки зрѣнія, полюсомъ холода будетъ Гренландія, т. к. она свободна отъ холода всего три мѣсяца. По мнѣнію Воейкова, самое холодное мѣсто въ сѣверномъ полушаріи находится на материковомъ ледяномъ покровѣ Гренландіи, а въ южномъ полушаріи—около южнаго полюса.

Сибирскій полюсъ холода не остается, въ теченіе всего года, на одномъ и томъ же мѣстѣ. Весной (въ апрѣлѣ и маѣ) эта область перемѣщается къ сѣверо-западу и въ іюнѣ и въ іюлѣ достигаетъ Карскаго моря, гдѣ средняя мѣсячная колеблется отъ 0° до 2°. Послѣ іюля, полюсъ холода возвращается въ область рѣки Яны, гдѣ остается до апрѣля слѣдующаго года. Относительно періодическаго перемѣщенія Гриннелева полюса холода нѣтъ никакихъ данныхъ. Точно также нѣтъ данныхъ о южномъ полюсѣ холода, т. к. южный полюсъ менѣе доступенъ, чѣмъ сѣверный. Крайняя граница изслѣдованій Нансена достигаетъ 86° 16', а въ южномъ полушаріи подобная граница го-

Digitized by Google

раздо меньше. По всей вѣроятности, южный полюсъ холода сосредоточенъ около самаго южнаго полюса.

Интересно теперь разсмотрѣть другую крайность,—области съ наиболѣе высокой температурой. Къ числу такихъ областей относится Сахара. Здѣсь въ іюлѣ средняя мѣсячная равна +35°. Въ отдѣльные моменты возможно повышеніе температуры до +55°. Въ С. Америкѣ есть область, называемая долиной Смерти, между 35°.40 и 36°.35 с. ш. и между 116°.15—117°.15 з. д. Эта долина имѣетъ въ длину около 120 клм., въ ширину 32 до 40 клм. Она лежитъ ниже уровня моря на 50 м.; окружена горами. Долина эта—дно нѣкогда бывшаго здѣсь соленаго озера. Наблюденія производились съ 1-го апрѣля по конецъ сентября 1891 г. Вотъ среднія температуры въ долинѣ Смерти [1]):

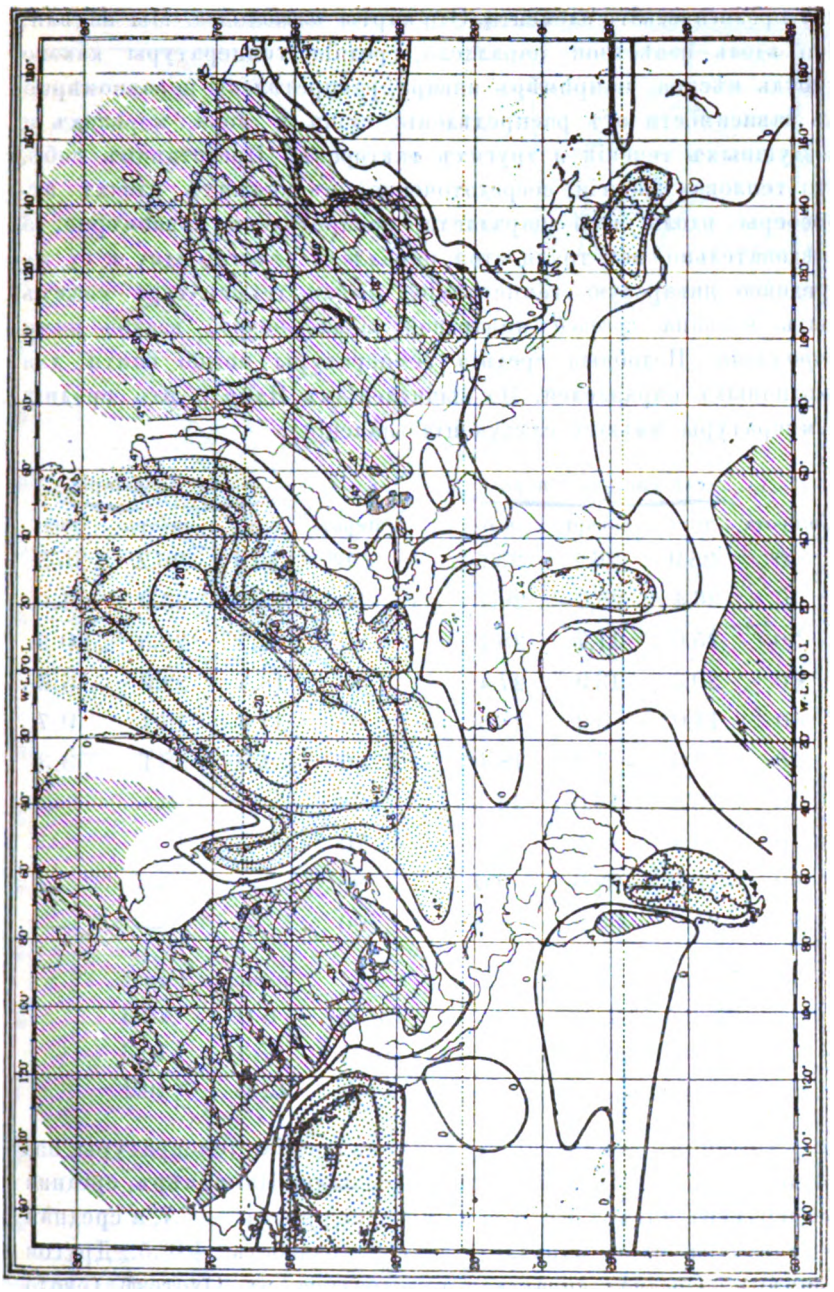
	средніе температуры	максимальныя температуры	относительная влажность
май	29°.3	40°.6	26%
іюнь	33.4	50.0	20
іюль	38.9	50.0	20
августъ	38.2	50.0	21
сентябрь	32.3	48.3	27

Воздухъ отличается сухостью. Наблюдалось повышеніе температуры въ тѣни до +54°. Иногда замѣчалась еще большая сухость. 4-го августа, вечеромъ, при температурѣ 44°.4, относительная влажность составляла всего 15%. Въ эту ночь минимальный термометръ показалъ 37°.3. Наиболѣе высокія стоянія термометра отмѣчены также въ Пенджабѣ (52°.0), Багдадѣ (52°.0), Сенегамбіи (54°.0) и оазисѣ Мурзукъ (56°.2). Въ оазисѣ Wargla (Алжиръ) 17 іюля 1879 года наблюдали 53°.0. Такимъ образомъ, можно принять, что термометръ на земной поверхности колеблется отъ —70° до +56°, т. е. въ предѣлахъ 126°.

Карты изономалей. Въ метеорологіи строятъ еще карты, которыя даютъ возможность особенно рѣзко подчеркнуть вліяніе различныхъ факторовъ на распредѣленіе того или другого

[1]) Das Wetter. 1897, Heft 7, S. 168 и Ciel et Terre, 1 octobre 1896, p. 435.

Digitized by Google



Фиг 135.

Digitized by Google

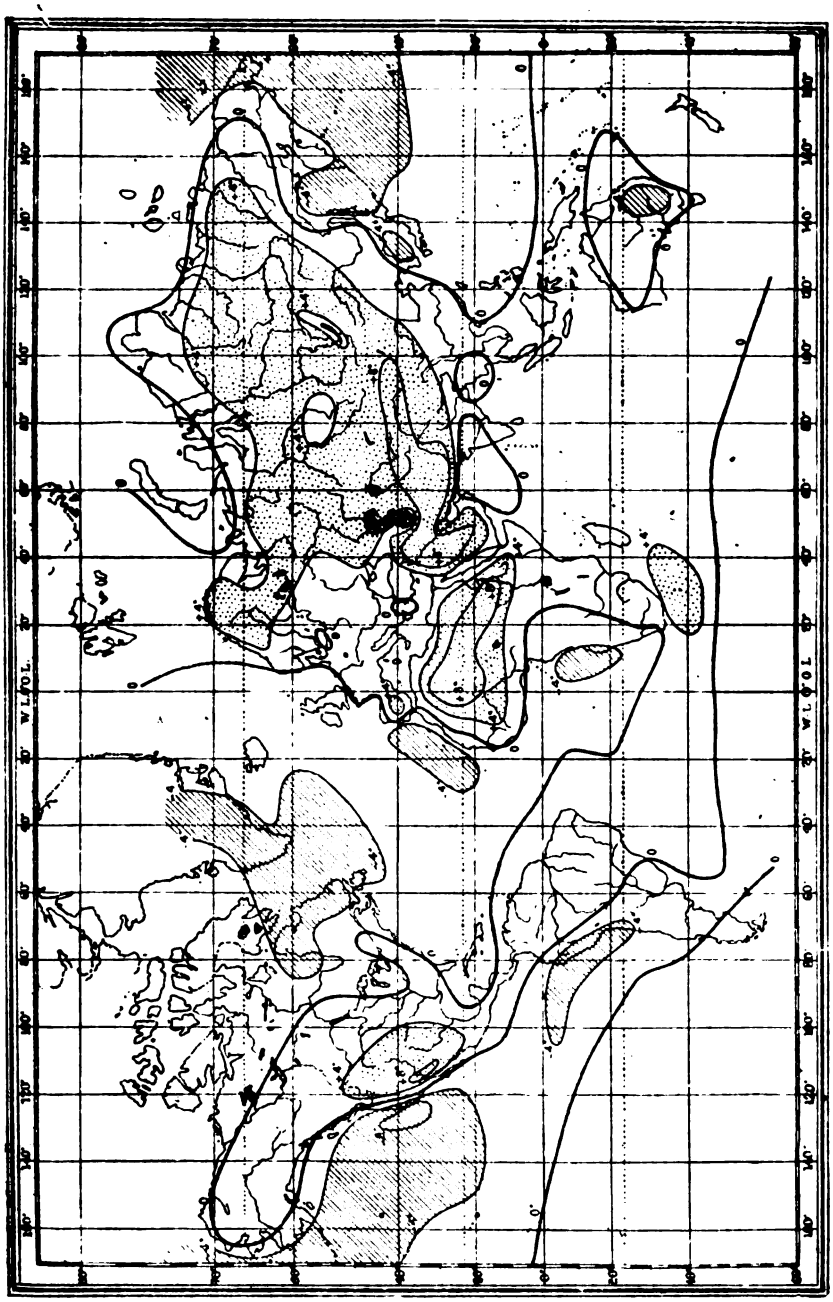
метеорологическаго элемента. Это карты *изономалей*. Мы видѣли, что вдоль извѣстной параллели, среднія температуры какого нибудь мѣсяца, напримѣръ января, распредѣлены неравномѣрно въ зависимости отъ распредѣленія суши и моря, морскихъ и воздушныхъ теченій и другихъ факторовъ. Представимъ себѣ, что тепловая энергія, сосредоточенная въ нижнихъ слояхъ атмосферы вдоль этой параллели, распредѣлена равномѣрно, а слѣдовательно, всѣ точки этой параллели имѣютъ одну и ту же среднюю январскую температуру. Такая температура можетъ быть названа *средней* январской *температурой* взятой нами *параллели*. Подобныя среднія температуры можно найти для различныхъ параллелей. По вычисленіямъ Hann'a, эти среднія температуры имѣютъ слѣдующія значенія:

	сѣверное полушаріе				южное полушаріе	
широта	годъ	январь	іюль	широта	годъ	январь	іюль
0°	25.9	26.2	25.5	0°	25.9	26.2	25.5
10	26.4	25.7	26.7	10	25.0	25.9	24.0
20	25.6	21.7	28.1	20	22.7	25.5	20.5
30	20.3	13.9	27.4	30	18.5	22.9	15.3
40	14.0	3.9	23.8	40	11.8	16.1	9.7
50	5.6	— 7.2	18.1	50	5.9	8.1	3.3
60	— 0.8	—16.0	14.1	60	—	—	—
70	— 9.9	—25.5	7.3	70	—	—	—
80	—16.5	—32.0	2.0	80	—	—	—
90	—20.0	—36.0	0.0	90	—	—	—

Вообще:	годъ	январь	іюль
сѣверное полушаріе . .	15°.2	8.0	22.5
южное полушаріе . . .	13.6	17.3	10.3
вся земля	14.4	12.6	16.4

Сравнимъ теперь эти среднія январскія температуры параллелей съ дѣйствительно наблюденными. Напримѣръ, средняя температура января въ Кіевѣ (50° с. ш.) равна —6°.7, а средняя температура 50-ой параллели —7°.2; разность +0°.5. Другой примѣръ. Средняя январская температура въ Охотскѣ (около 60° с. ш.) равна — 23°.7, а средняя температура 60-й параллели

Digitized by Google



Фиг. 136.

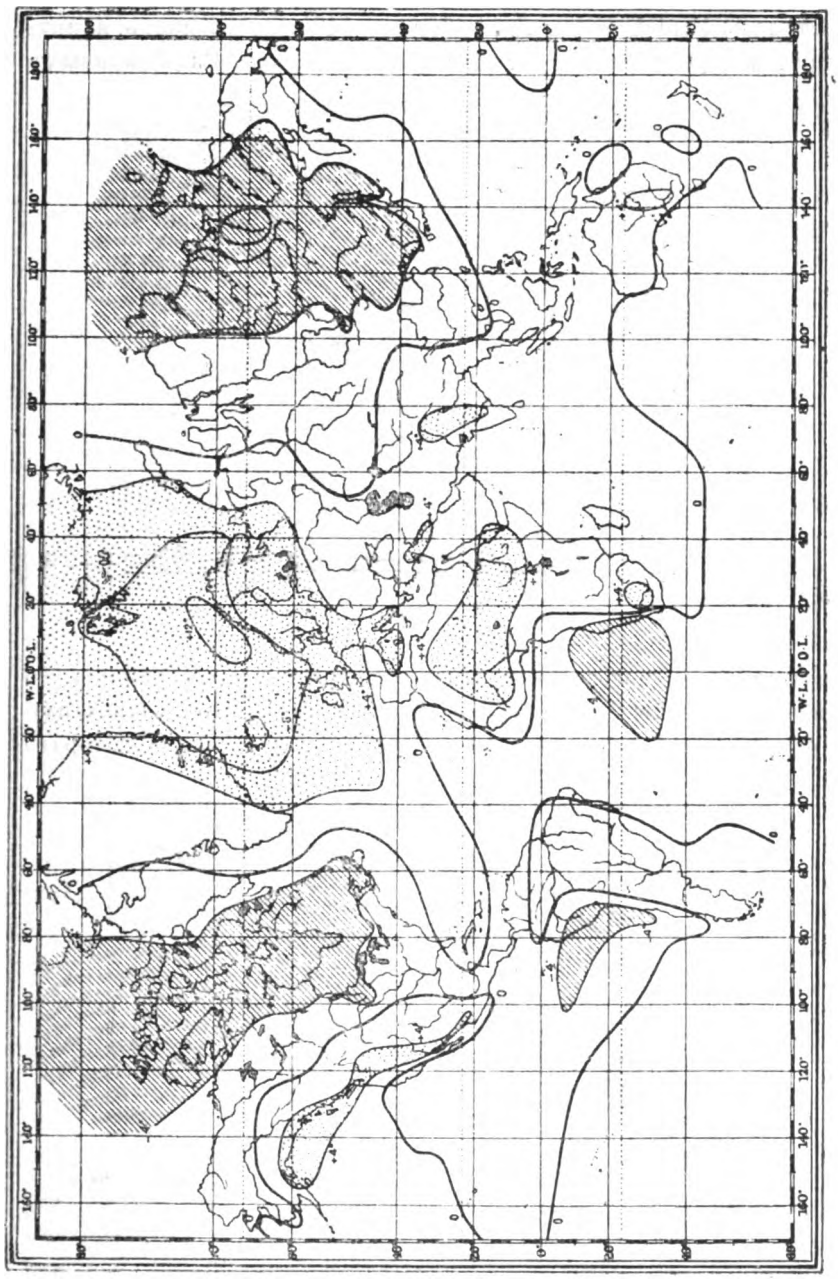
Digitized by Google

—16°.0; разность —7°.7. Числа +0°.5 и —7°.7 называютъ январской термической аномаліей Кіева и Охотска. Подобнымъ же образомъ можно вычислить термическія аномаліи для возможно большаго числа пунктовъ. Нанесемъ эти пертурбаціи на карту и точки, имѣющія одинаковыя, по величинѣ и по знаку, пертурбаціи, соединимъ непрерывными кривыми. Полученная карта представитъ январскую карту *изономалей*. На прилагаемыхъ чертежахъ даны изономали января (фиг. 135), іюля (фиг. 136) и года (фиг. 137). Изъ картъ видно, что въ январѣ области *положительныхъ* изономалей расположены надъ океанами, а *отрицательныхъ*—надъ сушей. Въ іюлѣ имѣетъ мѣсто обратное соотношеніе, что указываетъ на умѣряющее значеніе океана. Тѣ-же системы кривыхъ, въ полярной проекціи, можно видѣть на фигурахъ 138 и 139.

Карты изономалей получаютъ, въ послѣднее время, большое значеніе въ различныхъ отдѣлахъ метеорологіи. Нужно замѣтить, что дѣйствительное распредѣленіе извѣстнаго явленія на земной поверхности слагается, вообще говоря, изъ нѣкотораго, такъ сказать, нормальнаго режима, на который наложены различнаго рода пертурбаціи, стремящіяся замаскировать основную схему явленія. Напримѣръ, въ распредѣленіи теплового состоянія земной поверхности, основная схема обусловливается солнечной инсоляціей; эту основную схему стремятся видоизмѣнить другіе, второстепенные, факторы: распредѣленіе суши и океана, воздушныя и морскія теченія и прочее. Точно также магнитныя свойства земли можно разложить на основной, какъ говорятъ, *нормальный* режимъ плюсъ нѣкоторую, дополнительную, схему, которая, совмѣстно съ основнымъ режимомъ, даетъ дѣйствительное распредѣленіе земного магнетизма. Такой методъ даетъ иногда возможность не только выдѣлить качественно пертурбаціонные агенты, но даже опредѣлить ихъ количественно.

Карты Hildebrandsson'а. До сихъ поръ мы разсматривали тепловой режимъ нижнихъ слоевъ атмосферы въ нѣкоторомъ среднемъ его состояніи. Но можно также задаться цѣлью прослѣдить картографически его непрерывныя измѣненія при переходѣ отъ одного дня къ другому, прослѣдить постепенное нарастаніе тепла отъ зимы къ лѣту или охлажденіе при переходѣ отъ лѣта къ зимѣ. Подобнаго рода карты могутъ имѣть огромное значеніе для фенологіи, т. е. для ученія о періодическихъ явле-

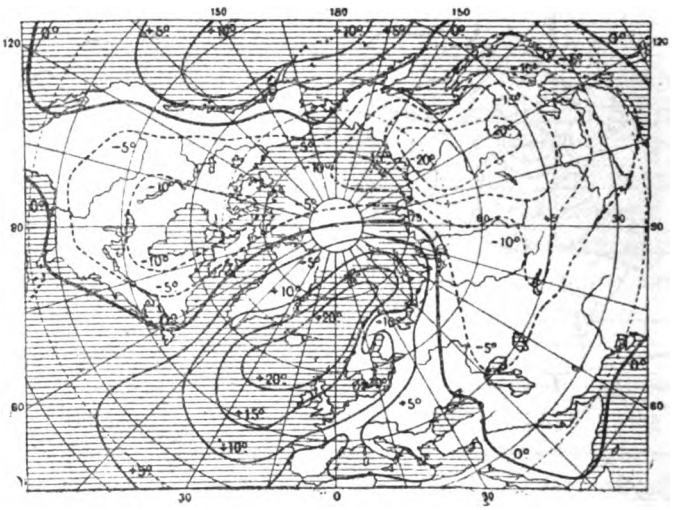
Digitized by Google



Фиг. 137.

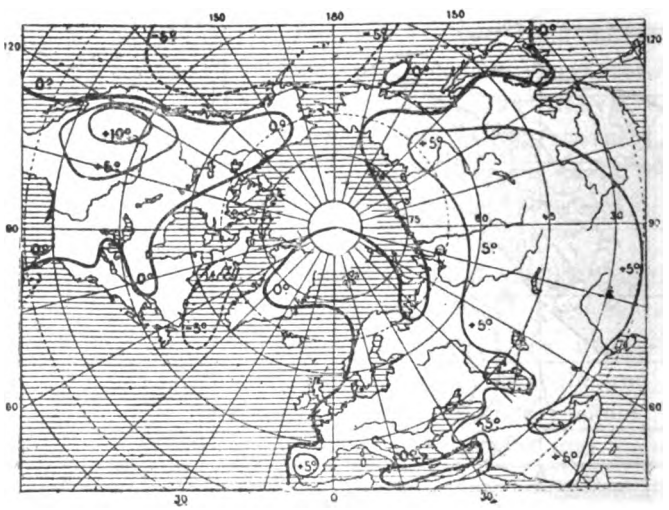
Digitized by Google

ніяхъ въ жизни животныхъ и растеній. Подобныя карты были построены Hildebrandsson'омъ. Фигура 140 представляетъ, напримѣръ, карту перемѣщенія нулевой изотермы. Рядъ кривыхъ



Фиг. 138.

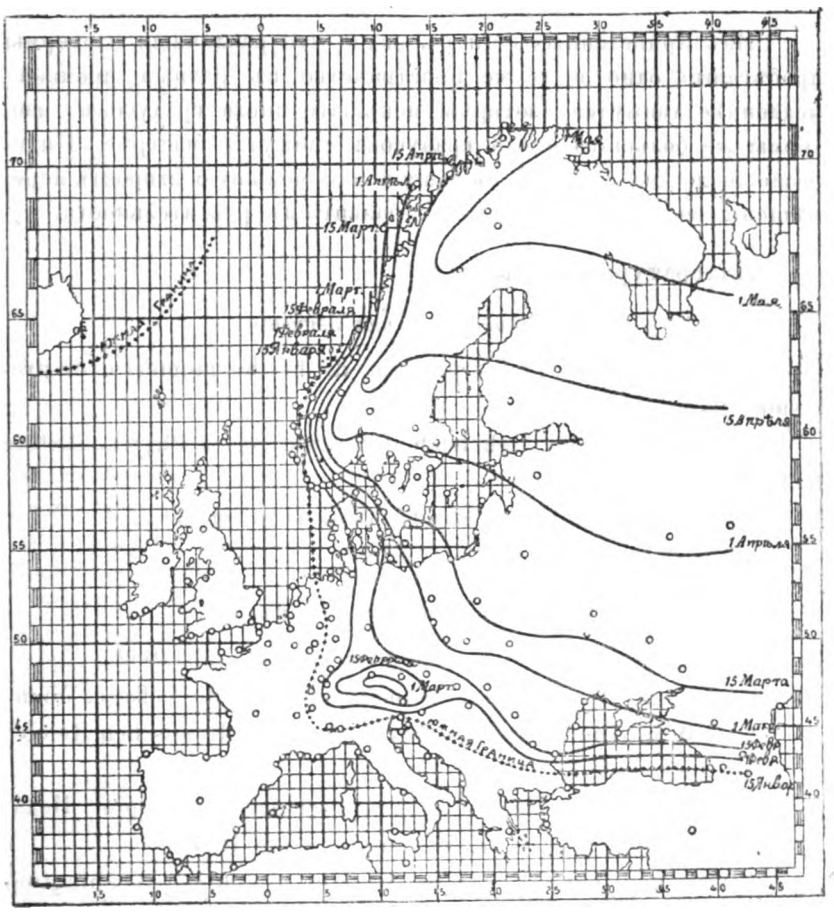
представляетъ положеніе нулевой изотермы черезъ каждые 15 дней. Изъ карты Гильдебрандсона мы видимъ, что нулевая изотерма 15 января имѣетъ форму прямого угла, вершина котораго



Фиг. 139.

Digitized by Google

находится въ юго-восточной Франціи, одинъ бокъ ея идетъ къ сѣверу, а другой къ востоку; вершина этой кривой къ 1-му мая перемѣщается въ Лапландію, и уголъ между вѣтвями дѣлается острѣе. Изотерма 0° проходитъ чрезъ Брюссель 10-го января,



Фиг. 140.

Петербурга же она достигаетъ лишь 8 апрѣля; слѣдовательно, для перемѣщенія отъ Брюсселя до Петербурга эта изотерма употребляетъ три мѣсяца. Если взять изотерму 3°, то увидимъ, что она бываетъ въ Брюсселѣ 1-го февраля, въ Петербургѣ 25 апрѣля; слѣдовательно, для прохожденія этого пространства

Digitized by Google

употребляетъ 84 дня Изотермы болѣе высокихъ температуръ движутся быстрѣе; такъ, изотерма

6°	достигаетъ	Брюсселя	10 марта,	а Петербурга	5 мая,
9°	»	»	7 апрѣля,	» »	15 »,
12°	»	»	4 мая,	» »	1 іюня.

Изъ приведенныхъ циферъ видно, что различныя изотермы пробѣгаютъ одно и то же пространство въ разныя времена; медленнѣе движутся изотермы меньшаго числа градусовъ; изотермы же большаго числа градусовъ движутся быстрѣе. Интересно было бы сравнить большую или меньшую скорость перемѣщенія изотермъ съ ходомъ и развитіемъ растительности.

Литературныя указанія.

A) *Приборы и ихъ изученіе.*

1) * Guillaume. Traité pratique de la thermométrie de précision, Paris. 1889.

2) * Kohlrausch. Lehrbuch der praktischen Physik. Letzte Auflage. Leipzig. 1905.

3) * Weinhold. Physikalische Demonstrationen.

4) * Frick. Physikalische Technik.

B) *Климатологическія данныя.*

5) * Воейковъ. Климаты земного шара. Спб. 1882.

6) * Hann. Handbuch der Klimatologie. Zweite Auflage. Wien.

7) * Wild. Die Temperaturverhältnisse des Russischen Reichs. St.-Petersburg. 1881.

8) * Климатологическій атласъ Россійской Имперіи. Изданіе Главной Физической Обсерваторіи Спб. 1899.

9) * Henry. Climatology of the United States. Washington. 1906.

10) * Hann. Lehrbuch der Meteorologie. Wien. 1905.

11) * Воейковъ. Метеорологія. Спб. 1904.

12) * Angot. Traité élémentaire de Météorologie. Paris. 1907.

13) * Angot. Résumé des observations météorologiques faites au Bureau central et à la tour Eiffel, pendant les cinq années

Digitized by Google

1890—1894. Annales du bureau mét. central. 1894. Mémoires, B. 145.

14) *Spitaler. Wärmeverteilung. Wien.

15) *Knoche. Ueber die räumliche und zeitliche Verteilung des Wärmegehalts der unteren Luftschicht. Hamburg. 1905.

16) Отдѣльныя статьи въ журналахъ:

a) Meteorologische Zeitschrift,

b) Repertorium für Meteorologie,

c) Monthly Wheather Reviev,

d) Annales du bureau météorologique central de France.

XI.

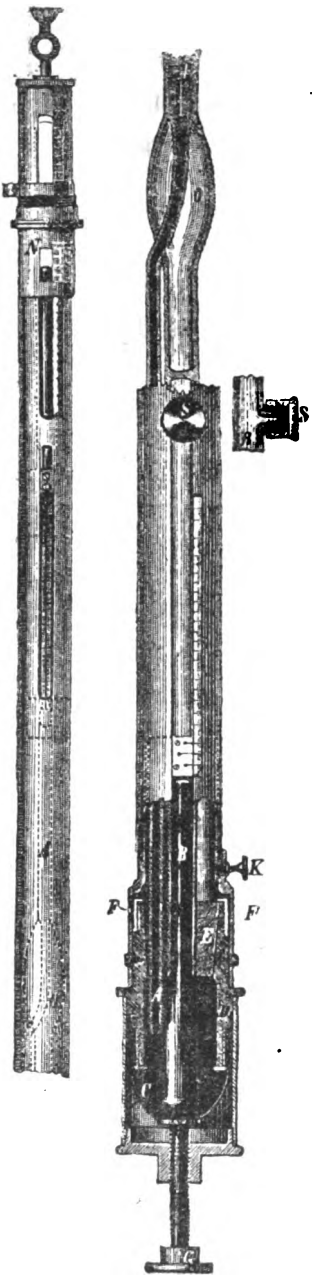
Давленіе воздуха.

Методы наблюденій; ртутные барометры. Очистка ртути. Наполненіе барометра. Введеніе поправокъ. Металлическіе барометры. Изученіе металлическихъ барометровъ. Гипсотермометры. Измѣреніе мелкихъ колебаній давленія. Регистрирующіе барометры. Принципъ вѣсового барометра. Барографъ Вильда. Барографъ Неклѣевича. Разработка барограммъ. Мелкія колебанія давленія. Суточныя колебанія давленія. Попытки объясненія суточнаго хода. Распредѣленіе давленія на земной поверхности; барометрическій градіентъ. Законы Тейссеранъ-де-Бора. Годовыя колебанія давленія. Среднее давленіе по параллелямъ. Крайнія пониженія и повышенія давленія. Литературныя указанія.

Методы наблюденій; ртутные барометры. Въ курсахъ общей физики подробно излагаются методы опредѣленія давленія воздуха. Существуютъ три главные способа измѣренія этого элемента: 1) барометры, наполненные слабо испаряющейся жидкостью, чаще всего ртутью, 2) металлическіе барометры и 3) гипсотермометры.

Въ простѣйшемъ видѣ, какъ извѣстно, ртутный барометръ состоитъ изъ чашки съ ртутью и опрокинутой надъ ней, сверху закрытой, трубки, содержащей ртутный столбъ. Часть трубки надъ ртутью (Торричелева пустота) вовсе не должна содержать воздуха. Высотою барометрическаго столба считаютъ разстояніе,

Digitized by Google



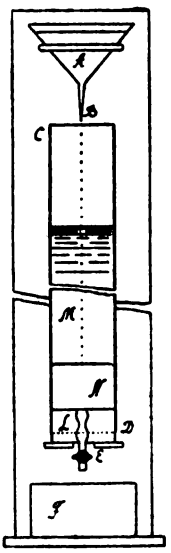
Фиг. 141.

по вертикальному направленію, отъ поверхности ртути въ чашкѣ до горизонтальной плоскости, проведенной касательно мениску ртути въ трубкѣ. Высота эта измѣряется помощью шкалы съ ноніусомъ, укрѣпленной параллельно оси трубки. При измѣненіяхъ давленія, высота ртути въ трубкѣ измѣняется, причемъ часть ртути или выливается въ чашку (при пониженіи давленія), или, обратно, ртуть изъ чашки входитъ въ трубку (при повышеніи давленія); вслѣдствіе этого, уровень, отъ котораго должна измѣряться высота барометрическаго столба, постоянно измѣняется. Для того, чтобы отсчетъ всегда производился отъ уровня ртути въ чашкѣ, въ барометрахъ этого типа (чашечныхъ) устраиваютъ или подвижную шкалу, или подвижное дно, такъ что нуль дѣленій шкалы всегда можно привести къ уровню ртути въ чашкѣ. Въ барометрахъ съ широкимъ резервуаромъ, діаметръ чашки во много разъ больше діаметра трубки, вслѣдствіе чего небольшія измѣненія въ высотѣ ртути въ трубкѣ не измѣняютъ чувствительно высоты ртути въ чашкѣ. Существуютъ еще, какъ извѣстно, сифонные барометры. На метеорологическихъ станціяхъ примѣняются приборы смѣшанной системы, сифонно-чашечные Таруттини и Вильда-Фюсса (фиг. 141). Подробное описаніе этихъ барометровъ можно найти въ «Инструкціи Главной Физической Обсерваторіи». Барометры эти весьма удобны для переноски, а потому слу-

Digitized by Google

жать для сравненія приборовъ отдѣльныхъ станцій съ *нормальными* барометрами центральныхъ метеорологическихъ учрежденій [1]).

Очистка ртути. Барометръ принадлежитъ къ числу основныхъ метеорологическихъ инструментовъ, а потому остановимся вкратцѣ на практической сторонѣ его устройства. Барометръ долженъ быть наполненъ химически чистой ртутью, не содержащей въ растворѣ воздуха, который, выдѣляясь, могъ бы проникнуть въ верхнюю камеру. Въ виду этого, ртуть, употребляемая для наполненія барометра, должна быть, прежде всего, обработана химически, дабы освободить ее отъ посторонних примѣсей. Обрабатываютъ ртуть, взбалтывая ее послѣдовательно съ разведенной азотной и сѣрной кислотой; послѣ этого, ее промываютъ дистиллированной водой, пока не исчезнутъ слѣды кислой реакціи, высушиваютъ и фильтруютъ. Можно также пропустить ртуть, въ видѣ очень тонкой струйки, разбивающейся на капли, послѣдовательно черезъ слой разведенной азотной и сѣрной кислоты. Эта операція производится въ высокомъ стеклянномъ сосудѣ (фиг. 142).



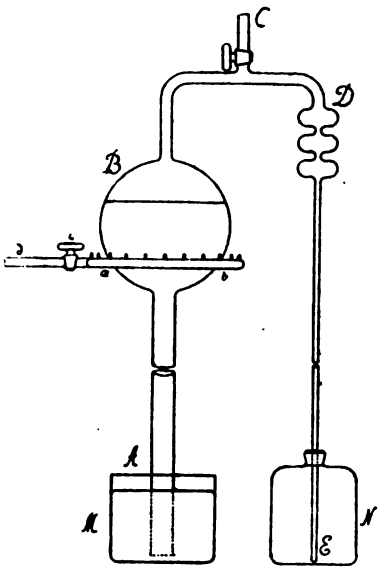
Фиг. 142.

Когда ртуть химически обработана, промыта, высушена и профильтрована, остается ее еще дистиллировать. На фигурѣ 143 представленъ простѣйшій дистилляціонный приборъ. *M*—сосудъ съ ртутью, подлежащей дистилляціи; *ABCDE*—стеклянная трубка, которая входитъ въ герметически закрытый сосудъ *N*. Помощью насоса, присоединеннаго къ колѣну *C*, выкачиваютъ воздухъ изъ трубки *ABCD* и сосуда *N*. Ртуть въ колѣнѣ *AB* подымается до высоты барометрическаго столба. Кольцевая горѣлка *ab* нагрѣваетъ ртуть въ шарѣ *B* и пары ея постепенно перегоняются въ сосудъ *N*. Но

---

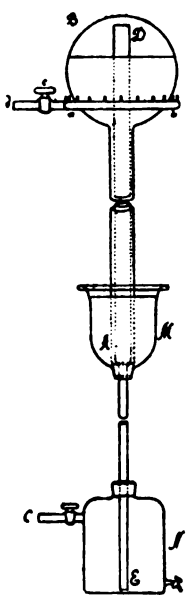
[1]) Подробное изслѣдованіе ртутныхъ барометровъ, а также описаніе устройства *нормальнаго* барометра можно найти въ статьяхъ Wild'a: a) «Ueber die Bestimmung des Luftdruckes». Repertorium für Meteorologie, redig. von Wild, Bd. III, 1874 и b) «Die Normalbarometer des physikalischen Central-Observatoriums zu Petersburg. Ibid., Bd. XVI, № 4, 1893.

Digitized by Google



Фиг. 143.

существуетъ и другой приборъ (фиг. 144). Шаръ *B* и припаянная къ нему трубка *A* опущены въ воронку *M*, наполненную ртутью. Внутрь трубки *A* входитъ другая трубка *DE*, широкая сверху и съуженная въ нижней своей части. Эта трубка входитъ въ герметически закрытую стклянку *N*. Нижнюю часть шара *B* обхватываетъ кольцевая горѣлка *ab*. Кранъ *C* соединенъ съ насосомъ. Дѣйствіе прибора слѣдующее. Воронку *M* наполняютъ ртутью и черезъ колѣно *C* выкачиваютъ воздухъ. Вслѣдствіе внѣшняго давленія, ртуть изъ воронки *M* подымается вверхъ по трубкѣ *A* и наполняетъ частью шаръ *B*. Зажигаютъ горѣлку, и образовавшіеся пары ртути, конденсируясь, падаютъ въ стклянку *N*.

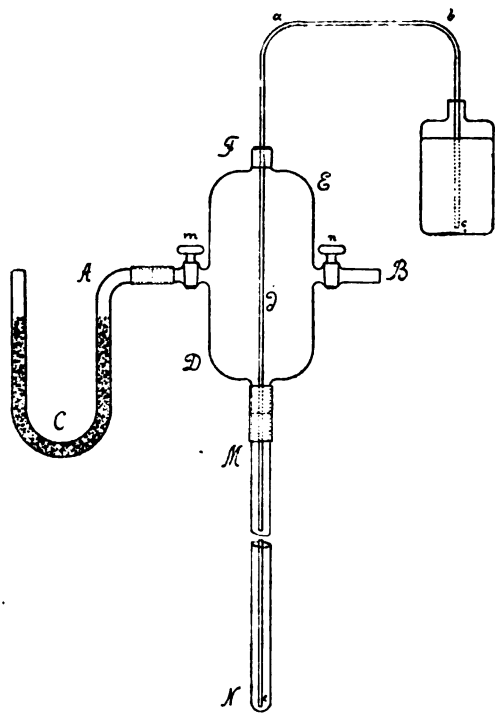


Фиг. 144.

Наполненіе барометра ртутью. Наполненіе барометра можно производить двумя путями. Цѣль каждаго изъ способовъ заключается въ томъ, чтобы изъ массы ртути окончательно удалить воздухъ. По первому способу, наполняютъ барометрическую трубку продистиллированной ртутью и, затѣмъ, кипятятъ ее надъ горячими углями или надъ газовыми горѣлками. Кипяченіе удобнѣе всего производить въ особомъ металлическомъ, слегка наклонномъ, желобѣ, дно котораго выложено асбестомъ. Но наполненіе барометра можно произвести и безъ кипяченія ртути. Способъ этотъ примѣняется, преимущественно, при наполненіи барометрической трубки прибора Вильда-Фюсса, имѣющей весьма сложную форму. Въ метеорологической обсерваторіи Новороссійскаго университета наполненіе ба-

Digitized by Google

рометра происходитъ по слѣдующей схемѣ (фиг. 145). *DE*— толстостѣнный стеклянный сосудъ; трубка *B* ведетъ къ насосу, а трубка *A* къ осушительному аппарату. Черезъ шейку, герметически закрытую, проходитъ капиллярная трубка *edabc*, идущая, съ одной стороны, къ чашкѣ съ дистиллированной ртутью, а съ другой, къ шейкѣ *M*, къ которой пристроена, тоже герметически, барометрическая трубка *MN*, подлежащая наполненію. Конецъ капилляра *c*, опущенный въ сосудъ, первоначально



Фиг. 145.

запаянъ. Внутреннія стѣнки прибора тщательно очищены и высушены. Наполненіе барометра происходитъ въ слѣдующемъ порядкѣ. Кранъ *m* закрываютъ, а кранъ *n* открываютъ и изъ всего прибора выкачиваютъ воздухъ. Послѣ этого, кранъ *n* закрываютъ, а открываютъ кранъ *m*. Приборъ наполняется воздухомъ, проходящимъ предварительно черезъ осушительный аппаратъ. Подобную операцію повторяютъ нѣсколько разъ, дабы осушить окончательно шаръ и барометрическую трубку. Трубку *MN*, во все время процесса осушенія, слегка нагрѣваютъ, проводя вдоль нея пламя спиртовой лампы или газовой горѣлки. Когда можно предполагать, что вся внутренность шара и барометрической трубки высушена, кранъ *m* окончательно запираютъ и, продолжая дѣйствовать насосомъ, отламываютъ подъ ртутью кончикъ капилляра *c*. Вслѣдствіе давленія внѣшняго воздуха, ртуть входитъ въ капилляръ и, въ видѣ тончайшей струйки, постепенно наполняетъ нашу баро

Digitized by Google

метрическую трубку. Когда трубка наполнена, остается собрать барометръ, по правиламъ, указаннымъ въ «Инструкціи Главной Физической Обсерваторіи». До опыта, барометрическая трубка и сосудъ *DE* должны быть предварительно очищены, а для этого, промываютъ ихъ разведенной азотной кислотой, затѣмъ дистиллированной водой до полнаго исчезновенія кислой реакціи. Въ заключеніе, промываютъ абсолютнымъ спиртомъ, слегка подогрѣвая снаружи надъ спиртовой лампой.

Иногда, для спеціальныхъ цѣлей, наполняютъ трубку барометра какой-нибудь мало испаряющейся жидкостью, напримѣръ, тяжелымъ нефтянымъ масломъ или глицериномъ. Такой приборъ, болѣе чувствительный къ измѣненіямъ давленія, представляетъ то неудобство, что очень трудно удержать длинный столбъ его при одной и той же температурѣ и ввести необходимыя поправки. Барометръ съ глицериномъ имѣетъ высоту 8.22 метра, а слѣдовательно, почти въ 11 разъ чувствительнѣе ртутнаго.

Введеніе поправокъ. Измѣренная непосредственно высота барометра требуетъ внесенія цѣлаго ряда поправокъ.

1) Высота ртутнаго столба, при *одномъ и томъ же давленіи*, зависитъ отъ температуры; чѣмъ выше температура, тѣмъ высота ртути больше. Для сравнимости наблюденій, необходимо измѣренныя высоты ртути приводить къ одной и той же, условно принятой, температурѣ. Обыкновенно приводятъ высоту ртутнаго столба къ 0^0. Пусть

высота ртутнаго столба при 0^0 равна H_0,
» » » » t^0 » H,

то

$$H = H_0(1+\beta t),$$

гдѣ β—коэффиціентъ расширенія ртути; отсюда

$$H_0 = \frac{H}{1+\beta t} = H(1-\beta t).$$

2) Шкала также претерпѣваетъ измѣненія съ измѣненіемъ температуры. Вслѣдствіе расширенія шкалы отсчетъ уменьшается и

$$H_0 = H(1+\gamma t),$$

Digitized by Google

гдѣ γ—коэффиціентъ расширенія шкалы (для латуни $\gamma=0.0000184$, а для стекла $\gamma=0.0000092$). Соединяя обѣ поправки вмѣстѣ (отъ расширенія ртути и латунной шкалы):

$$H_0=H[1-(\beta-\gamma)t]=H(1-0.000163\,t).$$

Помощью этой формулы можно привести высоту барометрическаго столба къ 0° ртути и шкалы. Эту формулу разлагаютъ въ таблицу, въ которой, разъ навсегда, вычислены поправки для разныхъ давленій и разныхъ температуръ.

3) Вѣсъ опредѣленнаго столба ртути зависитъ отъ напряженія тяжести. Но напряженіе тяжести на земномъ шарѣ увеличивается отъ экватора къ полюсамъ (стр. 55—56) и уменьшается по мѣрѣ поднятія надъ земной поверхностью. Вслѣдствіе этого, высота столба ртути, уравновѣшивающаго *опредѣленное* давленіе, неодинакова въ различныхъ широтахъ и на различныхъ высотахъ. Эта высота на экваторѣ больше и постепенно уменьшается къ полюсамъ. Необходимо, поэтому, приводить измѣренную высоту къ опредѣленному напряженію тяжести. Приводятъ, обыкновенно, къ напряженію тяжести подъ 45° широты и къ уровню океана по формулѣ (см. стр. 57):

$$H_{45}=H_\varphi(1-0.00259\,Cos2\varphi),$$

гдѣ φ—широта мѣста.

Поправка отъ тяжести довольно значительна, какъ это видно изъ слѣдующей таблички:

широта .	45°	50	55	60	65	70	75	80	85	90
поправка въ мм. .	+0.00	0.34	0.67	0.98	1.27	1.51	1.70	1.85	1.94	1.97
широта .	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
поправка въ мм. .	—1.97	1.94	1.85	1.70	1.51	1.27	0.98	0.67	0.34	0.00

Слѣдовательно, при переходѣ отъ экватора къ полюсамъ поправка измѣняется отъ —1.97 до +1.97, т. е. на 3.94 мм.

Digitized by Google

Поправка отъ высоты всегда отрицательна:

высота въ метр. .	500	1000	1500	2000	2500	3000
поправка въ мм. .	0.07	0.13	0.19	0.23	0.27	0.31
высота въ метр. . . .	3500	4000	4500	5000	6000	
поправка въ мм. . . .	0.34	0.36	0.38	0.40	0.42	

4) Ртуть въ барометрѣ стоитъ вообще ниже, вслѣдствіе капиллярности. Величина поправки зависитъ отъ внутренняго діаметра барометрической камеры. Если діаметръ камеры не менѣе 16 мм., то этой поправкой можно пренебречь.

5) Наконецъ, всякій барометръ имѣетъ еще свою *постоянную* поправку, зависящую отъ несовершенства его устройства. Эту поправку опредѣляютъ изъ многократныхъ его сравненій съ *нормальнымъ* барометромъ центральнаго метеорологическаго учрежденія страны [1]).

Металлическіе барометры. Приборы эти состоятъ изъ герметически замкнутой тонкостѣнной металлической полости, внутри которой воздухъ разрѣженъ. Внѣшнее давленіе уравновѣшивается упругостью металлической оболочки. При измѣненіяхъ давленія, металлическая полость деформируется, и эти деформаціи передаются, системой чувствительныхъ рычаговъ, подвижному индексу. Въ металлическомъ барометрѣ Bourdon'a, эта полость имѣетъ форму изогнутой тонкостѣнной трубки, закрѣпленной по серединѣ. При измѣненіяхъ давленія, свободные концы ея сближаются или расходятся. Эти перемѣщенія передаются стрѣлкѣ, движущейся передъ циферблатомъ. Весь приборъ помѣщенъ въ коробкѣ. Въ анероидахъ Vidi (фиг. 146), трубка замѣнена круглой металлической коробкой, изъ которой воздухъ выкачанъ. При измѣ-

Фиг. 146.

[1]) Устройство нормальнаго барометра Главной Физической Обсерваторіи см. Wild's Repertorium für Meteorologie, Bd. XVI.

Digitized by Google

неніяхъ давленія желобчатое дно коробки выпучивается или вдавливается, и эти движенія передаются индексу.

Изученіе металлическихъ барометровъ. Чтобы металлическій барометръ обратить въ *измѣрительный* приборъ, необходимо тщательно изучить каждый экземпляръ отдѣльно и опредѣлить его поправку. Опытъ показалъ, что поправка анероида не остается безъ измѣненія. Она измѣняется съ измѣненіемъ давленія, съ измѣненіемъ температуры, а также съ теченіемъ времени (вслѣдствіе измѣненія, съ теченіемъ времени, упругости металлической коробки). Опредѣленіе полной поправки составляетъ довольно сложную операцію, которую для каждаго прибора необходимо періодически повторять. Прежде всего разсмотримъ опредѣленіе температурнаго коэффиціента анероида, т. е. измѣненіе показаній барометра при измѣненіи температуры на 1^0. Для опредѣленія этого коэффиціента, дѣлаютъ рядъ сравненій анероида съ нормальнымъ приборомъ при различныхъ температурахъ. Положимъ, что въ результатѣ сравненій получены слѣдующія числа:

ртутн. барометръ	металлич. барометръ	температура
754.3 мм.	753.5 мм.	$9^0.3$
753.1 »	753.0 »	18.2
1.2 »	0.5 »	8.9

Истинное давленіе увеличилось на 1.2 мм.; можно предполагать, что показаніе металлическаго барометра, при $18^0.2$, будетъ $753.5+1.2$ мм., между тѣмъ, испытуемый барометръ показалъ только 753.0 мм., т. е. на 1.7 мм. меньше; это измѣненіе слѣдуетъ приписать измѣненію температуры на $8^0.9$; слѣдовательно, *температурный коэффиціентъ* барометра

$$a=\frac{1.7}{8.9}=0.19 \text{ мм.}$$

Если металлическій барометръ долженъ служить для измѣренія давленій только въ тѣхъ предѣлахъ, въ которыхъ оно измѣняется, въ какомъ-нибудь данномъ мѣстѣ, напримѣръ въ Одессѣ, то опредѣленіе поправки можно произвести путемъ сравненія показаній анероида и ртутнаго барометра. Съ этой цѣлью, станемъ одновременно отсчитывать, при различныхъ давленіяхъ

Digitized by Google

и различныхъ температурахъ, показанія анероида, ртутнаго барометра и термометра и находить поправки, т. е. разности между показаніями анероида и ртутнаго барометра:

время наблюденія	показанія: анероида въ мм.	показанія: ртутн. баром. въ мм.	поправка анероида въ мм.	температура
1 мая	755.6	756.0	+0.4	16°.0
2 »	750.1	751.0	+0.9	16.4
3 »	746.8	747.8	+1.0	17.0
4 »	756.4	756.9	+0.5	18.0
5 »	762.8	762.7	+0.1	18.3
		и т. д.		

Допустимъ, что всего произведено 30 сравненій. Этими наблюденіями можно воспользоваться различными способами. Прежде всего, наблюденія дадутъ критеріумъ, по которому можно судить о качествѣ анероида. Если поправки рѣзко измѣняются, идутъ неправильными скачками и даже мѣняютъ знакъ при непрерывномъ, напримѣръ поступательномъ, ходѣ давленія, то, очевидно, анероидъ принадлежитъ къ плохимъ экземплярамъ и не можетъ быть обращенъ въ *измѣрительный* приборъ. Но допустимъ, что такихъ неправильностей въ измѣненіяхъ анероида не замѣчается. Въ этомъ случаѣ, мы можемъ, во-первыхъ, ограничиться нахожденіемъ *общей средней* поправки; для этого, стоитъ только найти среднее ариѳметическое четвертаго и пятаго столбцовъ; пусть эти средніе соотвѣтственно равны +0.3 мм. и 17°.1. Слѣдовательно, *средняя* поправка нашего анероида равна +0.3 мм. при *средней* температурѣ 17°.1. Для опредѣленія поправки при всякой другой температурѣ, нужно принять въ расчетъ, ранѣе опредѣленный, температурный коэффиціентъ.

Но можно всѣ наблюденія распредѣлить на группы. Къ первой группѣ отнести всѣ наблюденія, произведенныя при давленіяхъ, напримѣръ отъ 730 до 739 мм. включительно; ко второй группѣ—наблюденія при давленіяхъ отъ 740 до 749 мм. и т. д. и для каждой группы найти среднюю поправку. При достаточномъ числѣ наблюденій, можно еще эти группы распредѣлить на подгруппы по температурамъ: отъ 10° до 14°, отъ 15° до 20° и т. д. Такимъ путемъ мы получимъ поправку для отдѣльныхъ группъ давленій и разныхъ температуръ.

Digitized by Google

Гораздо удобнѣе составить общую формулу для вычисленія поправки при всякомъ данномъ давленіи и всякой данной температурѣ. Допустимъ, что анероидъ показываетъ 760 мм. и температура его равна 10°; пусть соотвѣтствующая поправка будетъ p. Положимъ, далѣе, что *измѣненіе* этой поправки

при измѣненіи анероида на 1 мм. равно a мм.,
» » температуры его на 1° равно b мм.,

суточное же измѣненіе поправки составляетъ c мм.

Очевидно что если, спустя k дней, нашъ анероидъ показалъ h мм., а температура его была $t°$, то поправка выразится слѣдующимъ образомъ:

$$P=p+a(760-h)+b(10-t)+ck.$$

По этой формулѣ можно опредѣлить поправку, если будутъ извѣстны коэффиціенты p, a, b и c. Эти коэффиціенты можно вычислить способомъ наименьшихъ квадратовъ, изъ произведенныхъ сравненій. Для первой пары наблюденій имѣемъ

$$P=+0.4,\ h=755.6,\ t=16°.0,\ k=0;$$

для второй пары

$$P=+0.9,\ h=750.1,\ t=16°.4,\ k=1;\qquad \text{и т. д.}$$

На этомъ основаніи можно написать рядъ уравненій:

$$0.4=p+a(760-755.6)+b(10-16.0)$$

$$0.9=p+a(760-750.1)+b(10-16.4)+c.1\qquad \text{и т. д.}$$

Такихъ уравненій съ 4-мя неизвѣстными p, a, b и c получимъ столько, сколько сдѣлано сравненій. Остается поступить такъ, какъ это было указано при разработкѣ записей термографа (стран. 428), т. е. составить 4 нормальныхъ уравненія и изъ нихъ опредѣлить неизвѣстныя p, a, b и c. Составленную формулу, для удобства вычисленія, можно разложить въ таблицы.

До сихъ поръ мы, для опредѣленія поправокъ, сравнивали показанія анероида съ показаніями ртутнаго барометра. Этимъ путемъ мы можемъ опредѣлить поправки только въ тѣхъ предѣлахъ, въ какихъ происходятъ колебанія барометра въ мѣстѣ

Digitized by Google

наблюденія. Въ Одессѣ, напримѣръ, на уровнѣ станціи барометръ никогда не опускался ниже 729 мм. Между тѣмъ, анероиды примѣняются при гипсометрическихъ съемкахъ горъ, гдѣ давленіе падаетъ до 700, 650 мм. и ниже. Для опредѣленія полной поправки, нужно имѣть особый приборъ, въ которомъ бы можно было искусственно понижать давленіе и измѣнять температуру въ возможно болѣе широкихъ предѣлахъ. Такой приборъ (фиг. 147) изготовляется механикомъ Fuess'омъ въ Берлинѣ. Приборъ состоитъ изъ открытой металлической коробки съ двойными стѣнками, между которыми можно заставить циркулировать воду различной температуры. Коробка закрывается хорошо отшлифованной толстой пластинкой стекла. Коробка соединена съ ртутнымъ насосомъ, помощью котораго можно въ ней измѣнять упругость воздуха. Эти измѣненія упругости измѣряются особымъ ртутнымъ манометромъ. Заставляя циркулировать воду различной температуры между двойными стѣнками коробки, можно измѣнять температуру испытуемаго анероида. Изученіе анероида производится слѣдующимъ образомъ. Испытуемый приборъ кладутъ въ коробку и отмѣчаютъ показаніе ртутнаго барометра, анероида и термометра, помѣщеннаго также внутри коробки. Пусть показаніе анероида равно 755.8 мм., ртутнаго барометра—756.0 мм., а температура 18°; слѣдовательно, придерживаясь прежняго обозначенія, имѣемъ

$$P=0.2,\ h=755.8,\ t=18^0 \text{ и } k=0.$$

и $$0.2=p+a(760-755.8)+b(10-18).$$

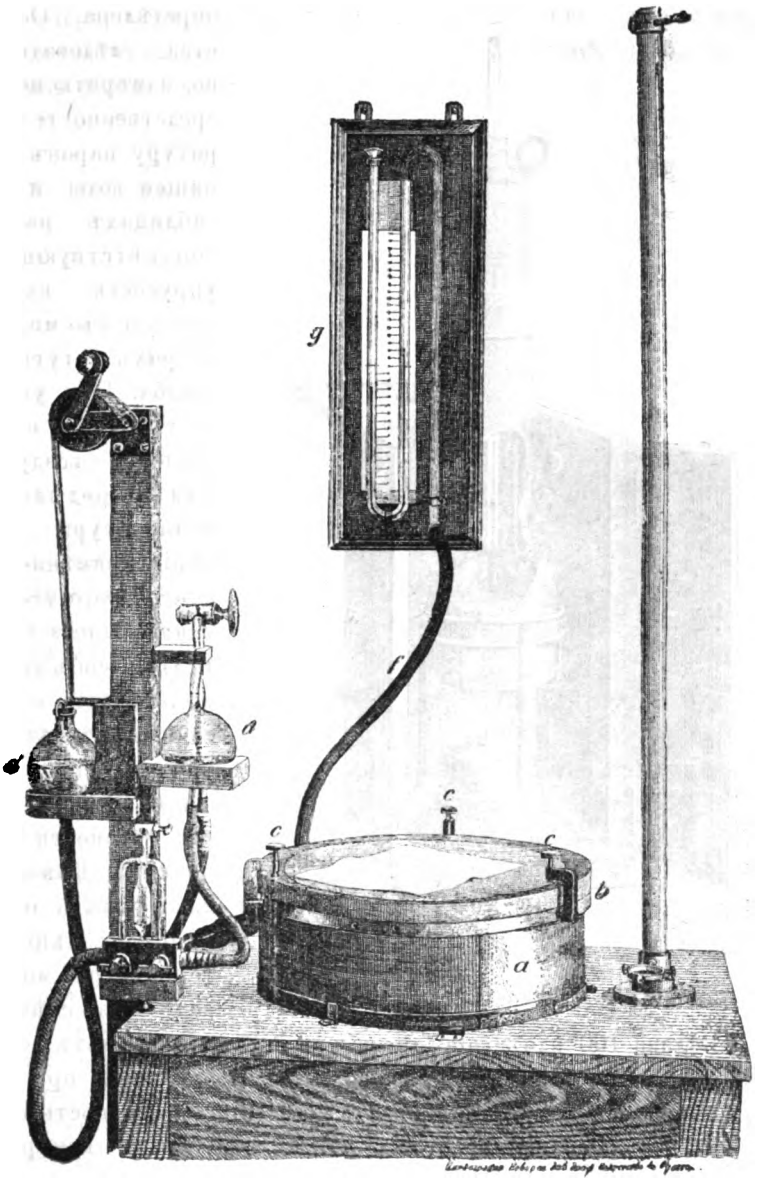
Затѣмъ, слегка разрѣжаемъ воздухъ въ коробкѣ и измѣняемъ температуру циркулирующей воды. Положимъ, что анероидъ показываетъ теперь 751.4 мм., манометръ въ открытомъ колѣнѣ понизился на 4 мм., а термометръ показываетъ 20°. Если наружное давленіе, измѣряемое ртутнымъ барометромъ, осталось безъ измѣненія (756.0 мм.), то очевидно, что истинное давленіе внутри коробки равно 756.0—4.0=752.0 мм. Такимъ образомъ, для втораго сравненія имѣемъ:

$$P=+0.6,\ h=751.4,\ t=20^0,\ k=1,$$

и $$0.6=p+a(760-751.4)+b(10-20)+k. \quad 1$$

Digitized by Google

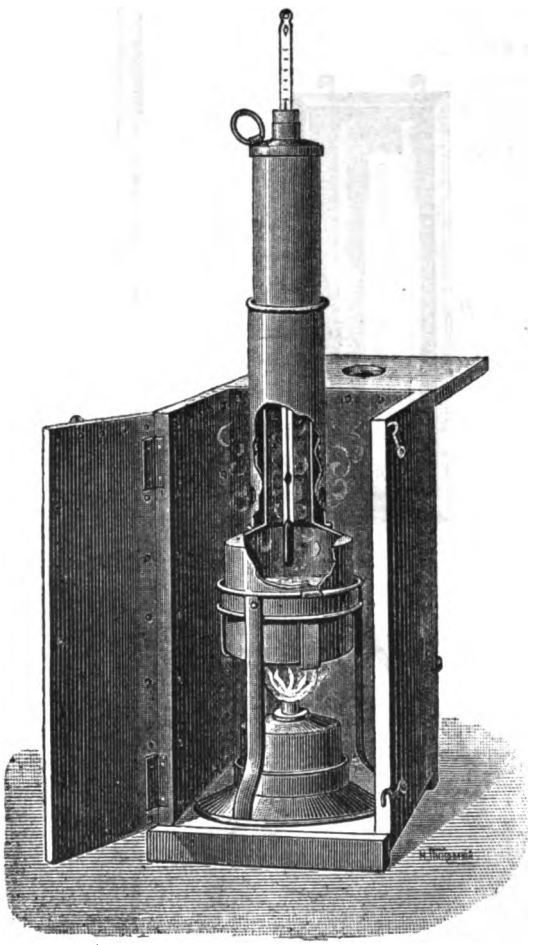
Такихъ уравненій составимъ столько, сколько сдѣлано сравненій и изъ этихъ уравненій опредѣлимъ, по способу наименьшихъ квадратовъ, неизвѣстные коэффиціенты p, a, b и c. Полученную формулу можно разложить въ таблицы.



Фиг. 147.

Digitized by Google

Гипсотермометры. Третій способъ опредѣленія давленія вытекаетъ изъ того общеизвѣстнаго факта, что упругость паровъ кипящей воды равна внѣшнему давленію. Но упругость насыщенныхъ водяныхъ паровъ при различныхъ температурахъ точно опредѣлена. Остается, слѣдовательно, измѣрить непосредственно температуру паровъ кипящей воды и въ таблицахъ найти соотвѣтствующую упругость, выраженную въ миллиметрахъ ртутнаго столба. Эта упругость и дастъ намъ давленіе воздуха. Для опредѣленія температуры кипѣнія примѣняется *гипсометрическій кипятильникъ* (фиг. 148). Способъ этотъ можетъ дать очень точные результаты при условіи крайней чувствительности и точности термометра. Какъ велика должна быть чувствительность термометра можно видѣть изъ слѣдующаго. Вблизи 100^0 измѣненіе давленія на 0.27 мм. измѣняетъ точку кипѣнія на $0^0.01$; такимъ образомъ, если мы желаемъ, при помощи гипсотермометра, опредѣлять давленіе съ точностью до 0.1 мм., то необходимо, чтобы нашъ термометръ измѣрялъ температуру съ точностью до $\frac{1^0}{300}$. Показанія гипсотермометра



Фиг. 148.

Digitized by Google

(такъ же какъ и анероида) не зависятъ отъ напряженія тяжести; въ виду этого, Mohn предложилъ примѣнять его для опредѣленія измѣненій силы тяжести. Новѣйшія таблицы для опредѣленія упругости водяныхъ паровъ изданы недавно Wiebe [1]).

Приведемъ еще числа, показывающія, какъ постепенно измѣняется температура кипѣнія воды по мѣрѣ поднятія надъ земной поверхностью:

давленіе въ мм.	высота въ метрахъ	точка кипѣнія
760.00	0	100°
707.27	570	98
657.66	1150	96
611.00	1740	94
567.14	2340	92
595.95	2940	90
487.28	3550	88
451.01	4170	86
417.02	4800	84.

Для повѣрки гипсотермометровъ служитъ приборъ, изготовленный Fuess'омъ въ Берлинѣ и подробно описанный въ журналѣ «Zeitschrift für Instrumentenkunde, Januarheft», 1891, S. 1 [2]).

Измѣреніе мелкихъ колебаній давленія. Въ послѣднее время обращено серьезное вниманіе на изученіе мелкихъ, такъ сказать, микроколебаній различныхъ метеорологическихъ элементовъ. Въ виду этого, понадобились приборы, отличающіеся крайней чувствительностью. Такіе приборы пишутся и для регистрированія мелкихъ колебаній давленія. Фирма братьевъ

---

[1]) Wiebe. Tafeln über die Spannkraft des Wasserdampfes zwischen 76° und 101°.5. Braunschweig. 1903.

[2]) Вообще же подробное описаніе разнообразныхъ приборовъ, служащихъ для измѣренія давленія и опредѣленія ихъ поправокъ, можно найти въ сочиненіяхъ:

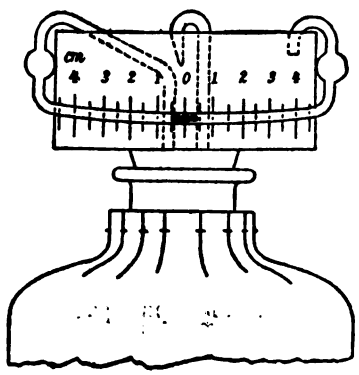
a) Hartl. Anleitung zum trigonometrischen und barometrischen Höhenmessungen. Wien. 1884.

b) Schreiber. Handbuch der barometrischen Höhenmessungen. 1883.

Digitized by Google

Ришаръ конструировала особые, крайне чувствительные, металлическіе барометры (статоскопы), устройство которыхъ въ общемъ, сходно съ устройствомъ обыкновенныхъ ришаровскихъ.

Hefner-Altenek предложилъ измѣрять мелкія колебанія, выходя изъ того положенія, что если извѣстная масса воздуха, находящаяся въ замкнутомъ пространствѣ, сообщается съ наружнымъ воздухомъ при помощи капилляра, то выравниваніе внутренняго и внѣшняго давленій происходитъ очень медленно и, во всякій данный моментъ, между внѣшнимъ и внутреннимъ давленіемъ существуетъ нѣкоторая разница. На этомъ основаніи, приборъ состоитъ (фиг. 149) изъ стеклянной банки, окруженной непроводникомъ для предохраненія отъ вліянія быстрыхъ измѣненій внѣшней температуры. Въ пробку, плотно входящую въ горлышко банки, вставлены двѣ трубки: одна оканчивается капилляромъ; другая — изогнута, какъ показано на чертежѣ. Въ горизонтальной части этой трубки находится капля нефти (индексъ). Такъ какъ выравниваніе упругости между внѣшнимъ и внутреннимъ воздухомъ идетъ весьма медленно, то всякое *быстрое* измѣненіе давленія во внѣшней средѣ тотчасъ же нарушитъ равновѣсіе и индексъ будетъ перемѣщаться то вправо, то влѣво. Перемѣщеніе индекса служитъ мѣрою измѣненій внѣшняго давленія.



Фиг. 149.

Для измѣренія мелкихъ колебаній давленія можетъ служить также высотомѣръ Менделѣева. Въ высотомѣрѣ Менделѣева, въ извѣстный моментъ, герметически выдѣляется, въ особой камерѣ, нѣкоторый объемъ воздуха. Камера снабжена нефтянымъ манометромъ, открывающимся во внѣшнюю среду. При всякомъ измѣненіи внѣшняго давленія, нефть въ манометрѣ, указывающая на разность между внѣшнимъ и внутреннимъ давленіемъ, будетъ перемѣщаться и перемѣщенія эти пропорціональны измѣненіямъ внѣшняго давленія.

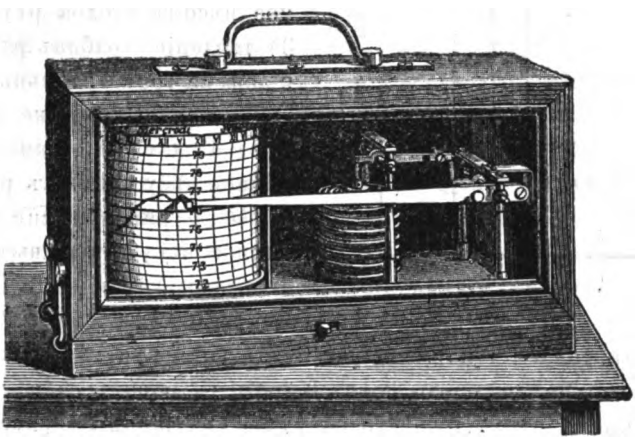
Существенный недостатокъ приборовъ, служащихъ для

Digitized by Google

измѣренія весьма малыхъ колебаній давленія, заключается въ томъ, что они крайне чутки къ измѣненіямъ температуры, и на практикѣ крайне трудно, почти невозможно, отдѣлить измѣненія, вызванныя температурой отъ колебаній, обусловленныхъ измѣненіями давленія.

Регистрирующіе барометры. Для записыванія *непрерывныхъ* измѣненій давленія служатъ *самопишущіе барометры* или *баррографы*.

1) Металлическій баррографъ Ришара (фиг. 150) состоитъ изъ ряда коробокъ, напоминающихъ коробки анероида и наложенныхъ другъ на друга. Верхняя крышка верхней коробки



Фиг. 150.

перемѣщается вверхъ и внизъ при измѣненіяхъ давленія, и эти перемѣщенія передаются рычагу, на концѣ котораго находится перо. Барометръ этотъ подробно описанъ въ «Инструкціи Главной Физической обсерваторіи».

2) Фотографически-регистрирующій баррографъ системы Кью (фиг. 115).

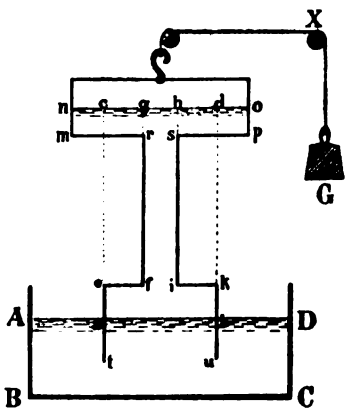
3) Печатающій приборъ Теорелли.

Основы этихъ двухъ приборовъ изложены въ главѣ X (стран. 421—424).

4) Баррографы Wild'a, Sprung'a и Неклѣвича, основанные на принципѣ вѣсового барометра.

Digitized by Google

Принципъ вѣсового барометра. Представимъ себѣ (фиг. 151) чашечный барометръ *BCno*. Трубка его поддерживается нитью, перекинутою черезъ блокъ x, на другомъ концѣ которой прикрѣпленъ грузъ G. Какъ великъ грузъ G, который можетъ уравновѣсить барометрическую трубку съ ртутью? Чтобы опредѣлить этотъ грузъ, нужно разсмотрѣть всѣ давленія, которыя претерпѣваетъ барометрическая трубка; алгебраическая сумма ихъ очевидно будетъ равна вѣсу G.



Фиг. 151.

На приборъ нашъ дѣйствуютъ слѣдующія силы: 1) вѣсъ P стеклянной трубки; 2) давленіе воздуха, сверху внизъ, измѣряемое вѣсомъ столба ртути *acdb*; 3) давленіе столбовъ ртути *ngrm* и *hops* на горизонтальныя стѣнки *mr* и *sp* по тому же направленію; 4) давленіе, снизу вверхъ, равное вѣсу столбовъ ртути *efgc* и *ikhd*; 5) давленіе, снизу вверхъ, равное вѣсу ртути, вытѣсненной стѣнками трубки *at* и *bu*, погруженными въ жидкость. Суммируя всѣ эти давленія и пренебрегая давленіемъ ртути, вытѣсненной стѣнками, найдемъ, что грузъ G долженъ равняться вѣсу стекла, сложенному съ вѣсомъ столба ртути *aefrmnopsikb* (вѣсомъ всей поднятой въ барометрѣ ртути). Такимъ образомъ, при измѣненіяхъ давленія, должно измѣняться равновѣсіе всей нашей системы. Прикрѣпимъ нашу трубку на оконечности одного плеча вѣсовъ, а на другомъ концѣ повѣсимъ соотвѣтствующій противовѣсъ. Очевидно, что, при измѣненіяхъ давленія, коромысло вѣсовъ будетъ наклоняться то въ одну, то въ другую сторону. Если къ серединѣ коромысла вѣсовъ прикрѣпить стрѣлку, которая двигалась бы передъ дугой, раздѣленной, опытнымъ путемъ, на части, то дѣленіе, указанное въ извѣстный моментъ стрѣлкой, дастъ намъ соотвѣтствующее давленіе.

Барографъ Вильда. На выше изложенномъ принципѣ Вильдъ построилъ свой регистрирующій барографъ. Въ приборѣ Вильда, къ серединѣ коромысла вѣсовъ прикрѣплена стрѣлка, конецъ которой снабженъ (перпендикулярно къ ней) каранда-

Digitized by Google

шемъ или штифтикомъ. Передъ концомъ его движется бумажная лента. Если высота барометра не измѣняется, то вѣсы находятся въ равновѣсіи, и карандашъ чертитъ прямую линію; но если, въ теченіе извѣстнаго времени, давленіе увеличивается или уменьшается, вслѣдствіе чего коромысло наклоняется въ ту или другую сторону, то карандашъ чертитъ на бумажной лентѣ нѣкоторую кривую линію. Въ барометрѣ Вильда штифтикъ не постоянно прикасается къ бумагѣ, а только придавливается къ ней, помощью извѣстнаго механизма, черезъ равные промежутки времени. Штифтикъ, ставящій точки на бумагѣ, находится между вилокъ, прикрѣпленныхъ къ рычагу, могущему качаться около нѣкоторой оси. Къ этому рычагу прикрѣпленъ якорь, находящійся передъ полюсами электромагнита. Черезъ каждыя 10 минутъ токъ замыкается, якорь притягивается къ электромагниту, и, слѣдовательно, рычагъ наклоняется; вмѣстѣ съ нимъ опускаются вилки, и штифтикъ, придавливаясь къ бумагѣ, оставляетъ на ней точку; въ то же время, токъ прерывается, и штифтикъ отходитъ отъ бумаги. Описанный механизмъ вращаетъ въ то же время валики и приводитъ въ движеніе бумагу [1]).

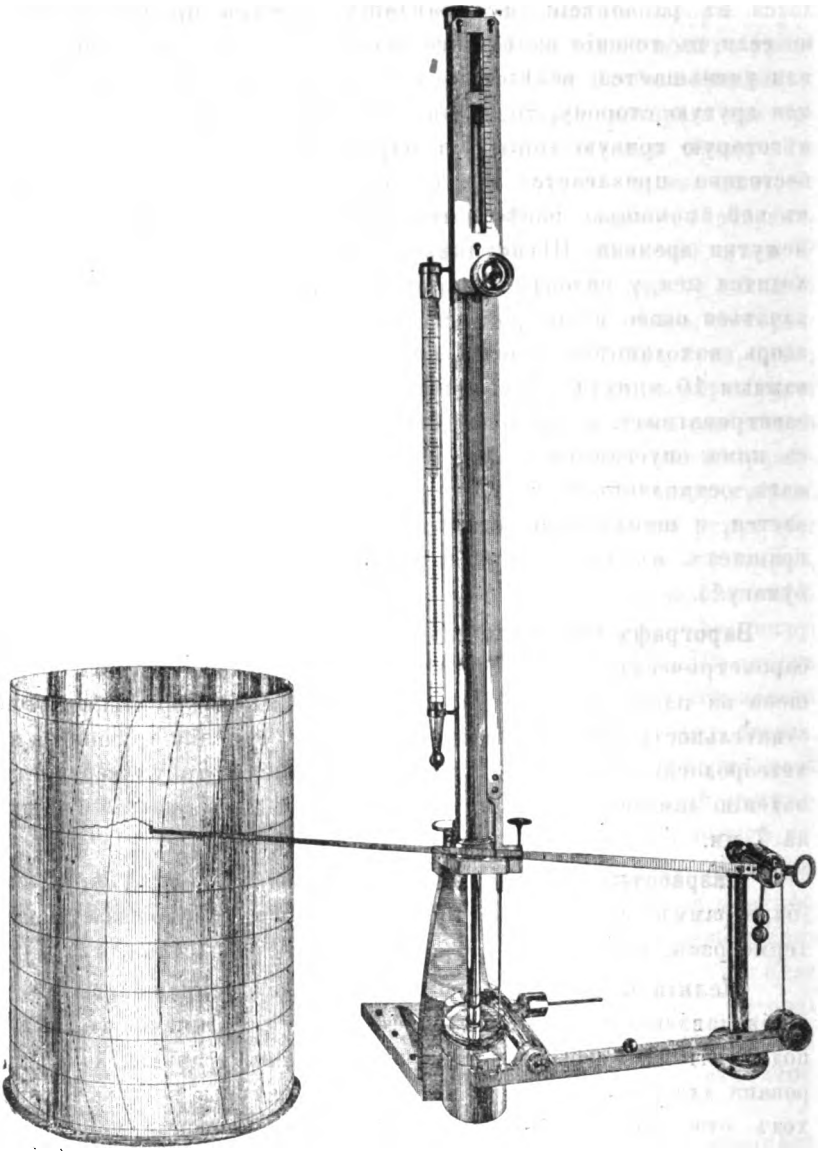
Барографъ Неклѣевича. Въ барографѣ Неклѣевича (фиг. 152) барометрическая трубка укрѣплена неподвижно, а чашка подвѣшена на плечѣ вѣсовъ. Въ приборѣ этомъ можно мѣнять чувствительность. Въ барографѣ Неклѣевича, функціонирующемъ въ метеорологической обсерваторіи Новороссійскаго университета, паденію давленія на 1 мм. соотвѣтствуетъ перемѣщеніе стрѣлки на 7 мм.

Разработка барограммъ. Разработка лентъ барографа (барограммъ) совершенно тождественна съ разработкой лентъ термографа, изложенной подробно въ главѣ X (стран. 429).

Мелкія колебанія барометра. Изучая непрерывныя измѣненія давленія при помощи чувствительныхъ приборовъ, легко подмѣтить ту же особенность, которая была раньше констатирована для солнечной радіаціи и температуры воздуха: переходъ отъ одного состоянія давленія къ непосредственно слѣ-

[1]) Описаніе барографа Sprung'а смотр. Sprung. Lehrbuch der Meteorologie, S. 397.

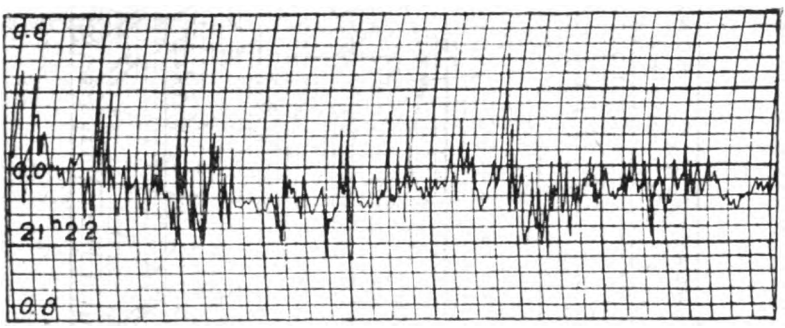
Digitized by Google



Фиг. 152.

Digitized by Google

дующее совершается не плавно, а путемъ ряда колебаній или, какъ бы, дрожаній. Амплитуды и періоды этихъ мелкихъ колебаній крайне неправильны и измѣнчивы. Эти дрожанія особенно рѣзки при неустойчивомъ состояніи давленія, при быстрыхъ его переходахъ отъ высокаго къ низкому или обратно. Установившееся высокое давленіе наиболѣе свободно отъ этихъ пульсацій. О характерѣ этихъ дрожаній можно судить по чертежу 153, представляющему одну изъ записей статоскопа Ришара. Дро-



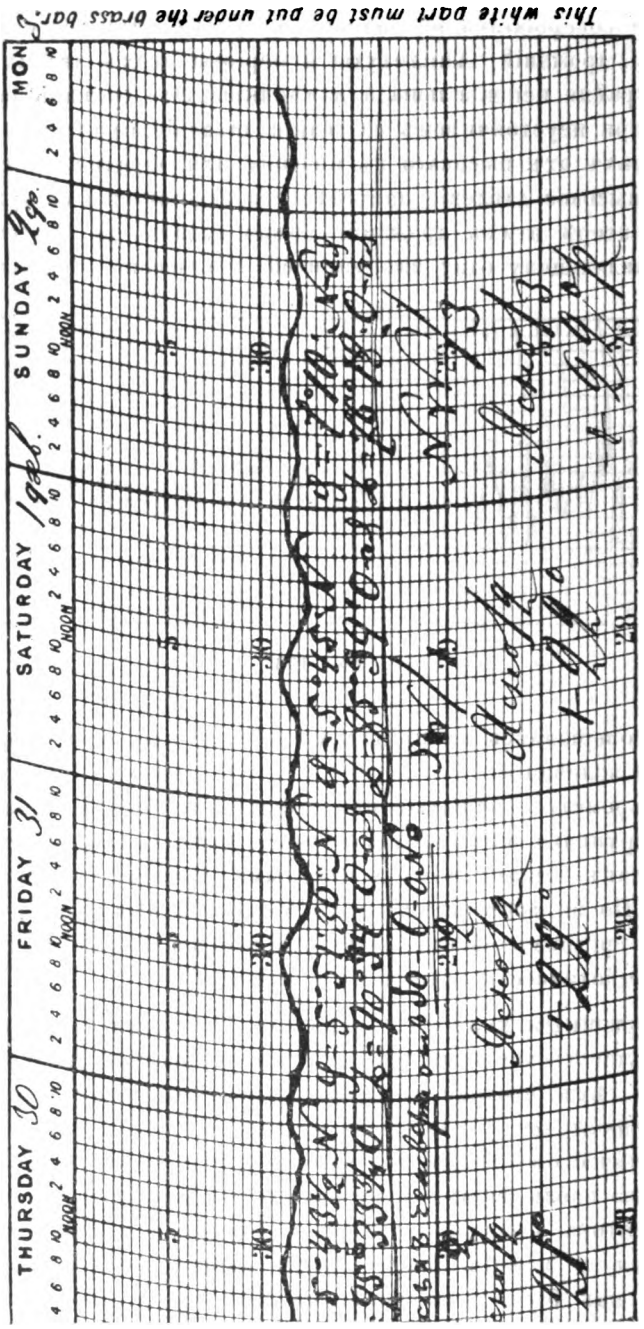
Фиг. 153.

жанія совершались въ предѣлахъ 1.5 мм. при весьма короткомъ періодѣ колебаній.

Барометръ испытываетъ, далѣе, постоянныя измѣненія болѣе крупнаго масштаба, измѣненія, тѣсно связанныя съ основными, какъ общими такъ и мѣстными, движеніями нашей атмосферы. Но на фонѣ всѣхъ этихъ колебаній можно подмѣтить и, путемъ среднихъ чиселъ, выдѣлить измѣненія, имѣющія характеръ періодичности—*суточныя* и *годовыя*.

Суточныя колебанія давленія. Суточныя измѣненія давленія существенно отличаются отъ суточныхъ измѣненій температуры тѣмъ, что они, въ теченіе сутокъ, имѣютъ *два максимума* и *два минимума*. Наибольшую правильность они обнаруживаютъ въ тропическомъ поясѣ, гдѣ колебанія эти могутъ быть констатированы наблюденіями даже одного дня; но, по мѣрѣ удаленія отъ экватора, правильность ихъ все болѣе и болѣе замаскировывается и можетъ быть открыта лишь методомъ среднихъ чиселъ изъ болѣе или менѣе длиннаго ряда наблюденій. На чертежѣ 154 представлена копія записи, полученной барографомъ

Digitized by Google



Фиг. 154.

Digitized by Google

Ришара, на одномъ изъ пароходовъ Добровольнаго флота на пути изъ Дальняго Востока 29 января—2 февраля 1903 года. Въ тропическомъ поясѣ эти колебанія имѣютъ наибольшую амплитуду (2—3 мм.); амплитуда уменьшается къ полюсамъ. Колебанія связаны съ солнечнымъ временемъ, а не съ луннымъ; слѣдовательно, допущеніе, что эти колебанія аналогичны океаническимъ «приливамъ и отливамъ» исключается. Объ общемъ характерѣ этихъ колебаній можно судить по слѣдующей таблицѣ, въ которой показаны *отклоненія* давленія въ различные часы дня отъ *средняго* стоянія:

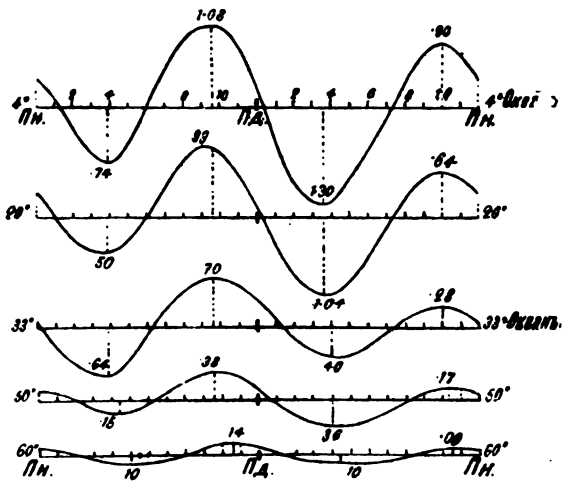
	Тихій океанъ	Океанъ	S. Martin	Upsala
	4°.5 с. ш.	33°.5 с. ш.	43°.5 с. ш.	59°.52 с. ш.
полдень	0.42 » »	0.07 » »	0.27 » »	0.11 » »
2 часа	—0.27 » »	—0.48 » »	—0.02 » »	0.03 » »
4 »	—0.74 » »	—0.64 » »	—0.27 » »	—0.06 » »
6 »	—0.05 » »	—0.05 » »	—0.11 » »	—0.07 » »
8 »	0.94 » »	0.49 » »	0.20 » »	0.04 » »
10 »	1.07 » »	0.69 » »	0.35 » »	0.16 » »
полночь	0.23 » »	0.39 » »	0.04 » »	0.07 » »
2 час.	—1.00 » »	—0.13 » »	—0.34 » »	—0.09 » »
4 »	—1.30 » »	—0.40 » »	—0.47 » »	—0.17 » »
6 »	—0.55 » »	—0.27 » »	—0.21 » »	—0.13 » »
8 »	0.27 » »	0.10 » »	0.15 » »	0.01 » »
10 »	0.89 » »	0.28 » »	0.41 » »	0.10 » »
среднее	0.64 » »	0.33 » »	0.24 » »	0.09 » »

Графически суточный ходъ давленія въ различныхъ широтахъ представленъ на фиг. 155. Изъ таблицы и чертежа видно, что, въ общемъ, первый минимумъ наступаетъ между 3 и 4 часами утра, за которымъ слѣдуетъ первый максимумъ около 9—10 ч. утра; второй минимумъ наблюдается въ 3—4 часа пополудни, а второй максимумъ въ 9—10 часовъ вечера. Рыкачевъ открылъ существованіе, въ зимніе мѣсяцы умѣреннаго пояса, третьяго слабаго максимума въ ночные часы. Обѣ волны давленія несимметричны. Дневное колебаніе почти вездѣ больше ночного. Послѣполуденный минимумъ глубже утренняго. Утрен-

Digitized by Google

ній максимумъ выше вечерняго. Въ частности въ Одессѣ, суточный ходъ давленія совершается въ слѣдующихъ предѣлахъ:

	высота барометра въ мм.	отклоненіе отъ средняго въ мм.	время наступленія
первый минимумъ . .	758.69	—0.14	4 час. утра
» максимумъ .	759.16	+0.33	10 » »
второй минимумъ . .	758.55	—0.28	4 » пополудни
» максимумъ. .	758.93	+0.10	10 » » .



Фиг. 155.

Среднее стояніе барометра равно 758.83 мм.; дневная амплитуда составляетъ 0.61 мм., ночная—0.24 мм., а полная—0.61 мм.

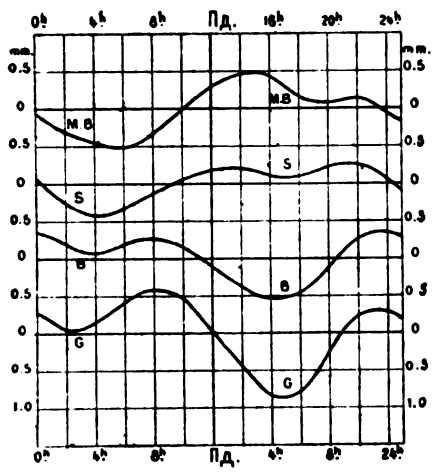
Сопоставляя суточный ходъ давленія въ различныхъ пунктахъ, нетрудно убѣдиться, что характеръ его зависитъ отъ мѣстныхъ условій и метеорологическихъ факторовъ. Суточный ходъ на островахъ и берегахъ, особенно лѣтомъ, отличается тѣмъ, что послѣполуденный минимумъ ослабленъ, а утренній—усиленъ. Утренній максимумъ, въ сравненіи съ вечернимъ, развитъ меньше; наступленіе утренняго максимума запаздываетъ до 1 ч. дня. Въ долинахъ послѣполуденный минимумъ очень глубокъ, а утренній слабъ; замѣчательно также раннее наступленіе и усиленіе утренняго максимума, запозданіе и незначи-

Digitized by Google

тельность вечерняго максимума. На склонахъ и на вершинахъ горъ обнаруживаются, по отношенію къ сосѣднимъ, болѣе низкимъ, мѣстамъ, тѣ же особенности, какія отмѣчены на береговыхъ станціяхъ по отношенію къ внутренности страны, т. е. утренній минимумъ очень глубокъ, послѣполуденный—ослабленъ. Точки поворота въ тропическихъ странахъ остаются безъ измѣненія. Въ болѣе высокихъ широтахъ утренній максимумъ запаздываетъ, а послѣполуденный минимумъ наступаетъ въ 5 часовъ (фиг. 155).

Суточный ходъ давленія претерпѣваетъ сильное видоизмѣненіе съ высотою:

	1 минимумъ		1 максимумъ		2 минимумъ	
	время	отклон.	время	отклон.	время	отклон.
Schafberg (1780 метр.)	5—6 ч. а	—0.35	11 ч. а	0.19	5 ч. р	—0.09
Obir (2040 метр.)	5- 6 ч. а	—0.38	полд.	0.24	6 ч. р	—0.12
Säntis (2500 метр.)	5—6 ч. а	—0.44	1 ч. р	0.17	$5^1/_2$ ч. р	0.07
Sonnblick (3100 метр.)	5—6 ч. а	—0.50	3 ч. р	0.22	6 ч. р	0.12



Фиг. 156.

Вліяніе высоты можно видѣть на фиг. 156, на которой представленъ суточный ходъ давленія въ іюлѣ 1887 года въ Женевѣ (408 метровъ высоты, кривая *G*), въ Бернѣ (573 метр., кривая *B*), на Säntis (2467 метр , кривая *S*) и на Монбланѣ (4811 метровъ, кривая *MB*).

Изъ этой таблицы видно, что на горахъ суточный ходъ давленія видоизмѣняется до неузнаваемости. Въ дневные часы барометръ стоитъ выше, а въ ночные — ниже, такъ что кривая давленія похожа на кривую температуръ.

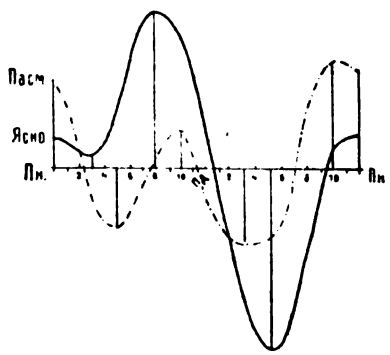
Digitized by Google

Утренній максимумъ и послѣполуденный минимумъ съ высотою запаздываютъ [1]).

Въ нашихъ широтахъ суточный ходъ зависитъ отъ времени года и состоянія погоды, особенно отъ степени облачности. Напримѣръ, въ Цюрихѣ:

	1-й мин.	1-й макс.	2-й мин.	2-й макс.	ампл.
ясно . .	—0.06	0.61	—0.71	0.12	1.32
	2 ч. а	8 ч. а	6 ч. р	полночь	—
пасмурно	—0.22	0.15	—0.29	0.42	0.71
	4 ч. а	10 ч. а	4 ч. р	10 ч. р.	—

Въ пасмурные дни амплитуды меньше, точки поворота придвинуты къ полудню, и весь суточный ходъ выраженъ рѣзче. На фиг. 157 изображенъ суточный ходъ давленія въ дни ясные и пасмурные въ среднихъ широтахъ. Въ тропическомъ поясѣ, въ дождливое время, амплитуды уменьшаются, а точки поворота остаются безъ измѣненія.



Фиг. 157.

Въ среднихъ и высшихъ широтахъ, при переходѣ отъ зимы къ лѣту, критическія точки отодвигаются отъ полудня, къ зимѣ онѣ приближаются къ полудню; кромѣ того, зимнія амплитуды меньше лѣтнихъ. Напримѣръ, въ Вѣнѣ, часы поворотовъ въ январѣ: 6 ч. утра, 10 ч. утра, 2 ч. пополудни, 10 ч. вечера; въ іюлѣ: 4 ч. утра, 8 ч. утра, 5 ч. пополудни, 12 ч. (полночь). Что касается амплитуды колебаній въ Вѣнѣ, то она въ январѣ равна 0.75 мм., а въ іюлѣ 1.2 мм.

Попытки объясненія суточнаго хода. До настоящаго времени, не существуетъ строгаго объясненія суточнаго колебанія давленія. Большая часть метеорологическихъ явленій обусловлена дѣйствіемъ солнечной энергіи и связана съ суточными измѣненіями температуры. Но суточное измѣненіе температуры

[1]) Hann. Lehrbuch der Meteorologie. 1905. S. 114.

Digitized by Google

имѣетъ одинъ максимумъ и одинъ минимумъ, между тѣмъ, въ ходѣ давленія наблюдается два максимума и два минимума. По Ramond'у, надъ наиболѣе нагрѣтымъ меридіаномъ, воздухъ подымается и стекаетъ вправо и влѣво, образуя барометрическій минимумъ, какъ бы въ рамкѣ двухъ максимумовъ; ночной минимумъ есть только *относительный* минимумъ между двумя максимумами, усиленный выпаденіемъ части паровъ изъ атмосферы, вслѣдствіе образованія росы или инея. Объясненіе Espy и Kreil'я, принятое позже Blanford'омъ, основывается на томъ соображеніи, что барометръ можно разсматривать какъ манометръ, измѣряющій во всякій данный моментъ *мѣстную* упругость воздуха. Съ утра начинается быстрое повышеніе температуры, особенно около 8—10 ч. утра, вслѣдствіе чего сильно увеличивается упругость въ нижнихъ слояхъ атмосферы. Далѣе начинается восходящее теченіе, понижающее давленіе. Вечерній максимумъ есть результатъ нисходящихъ теченій, вызванныхъ охлажденіемъ и обусловливающихъ сжатіе нижнихъ слоевъ воздуха. Но достаточно привести два—три факта, чтобы видѣть, что это объясненіе непріемлемо. И дѣйствительно. Утренній максимумъ разсматривается, какъ результатъ быстраго возрастанія температуры съ утра къ полудню, вслѣдствіе чего увеличивается упругость нижнихъ слоевъ. Очевидно, что тамъ, гдѣ это нарастаніе идетъ быстрѣе, утренній максимумъ долженъ быть выраженъ рѣзче. Среднее часовое приращеніе температуры надъ океаномъ не болѣе $0^{0}.2$, а въ Нукусѣ оно равно $2^{0}.1$; между тѣмъ, надъ океаномъ утренній максимумъ даже больше, чѣмъ въ Нукусѣ. Ночной минимумъ надъ океаномъ не меньше, а иногда и больше, чѣмъ надъ сушей [1]):

		1 мин.	1 макс.	2 мин.	2 макс.
океанъ	0^{0} с. ш.	—0.74 мм.	1.08 мм.	—1.30 мм.	0.89 мм.
»	10^{0} с. ш.	—0.68 »	0.89 »	—0.98 »	0.75 »
»	$33^{0}.5$ с. ш.	—0.64 »	0.69 »	—0.40 »	0.28 »
Нукусъ	$42^{0}.5$ с. ш.	—0.21 »	0.71 »	—0.48 »	0.09 » .

Довольно долго держалось въ метеорологіи объясненіе суточнаго хода, исходной точкой котораго приняты были слѣ-

[1]) Hann. Lehrbuch der Meteorologie. Leipzig. 1905. S. 145.

Digitized by Google

дующія соображенія. Барометръ измѣряетъ давленіе всей атмосферы. Но въ составъ атмосферы входитъ сухой воздухъ и пары воды. Поэтому, разсматривали, что общее давленіе B слагается изъ давленія B_1 сухого воздуха и давленія B_2 паровъ, т. е. $B=B_1+B_2$. Разсмотримъ ближе вліяніе температуры на каждое изъ слагаемыхъ. При повышеніи температуры въ данной точкѣ земной поверхности (напр., съ восходомъ солнца), нижніе слои воздуха постепенно нагрѣваются, приближаясь къ состоянію неустойчиваго равновѣсія; при извѣстныхъ условіяхъ могутъ образоваться восходящіе токи, уменьшающіе давленіе въ данномъ мѣстѣ. При пониженіи температуры образуются нисходящіе токи, увеличивающіе давленіе. Итакъ, повышеніе температуры уменьшаетъ первое слагаемое нашей суммы, а пониженіе способствуетъ его увеличенію. Обратное дѣйствіе имѣетъ температура на второе слагаемое. При повышеніи температуры усиливаются процессы испаренія съ поверхности водъ (рѣкъ, озеръ, болотъ и т. под.) и, вмѣстѣ съ тѣмъ, увеличивается второе слагаемое. Пониженіе температуры можетъ вызвать переходъ части паровъ въ жидкое состояніе и, тѣмъ самымъ, уменьшить ихъ общую упругость, т. е. понизить второе слагаемое B_2. Съ точки зрѣнія этихъ допущеній, суточный ходъ, съ чисто качественной стороны, представится намъ въ слѣдующемъ видѣ. Послѣ восхода солнца, начинаются процессы испаренія воды и второй членъ быстро возрастаетъ. Но въ первые часы послѣ восхода, почва нагрѣвается медленно, восходящіе токи еще слабы, и, слѣдовательно, первый членъ или остается безъ измѣненія, или убываетъ весьма медленно. Вся сумма увеличивается—барометръ повышается. Къ 10 час. утра почва сильно нагрѣвается, тенденція къ образованію восходящихъ токовъ возрастаетъ и первый членъ быстро уменьшается. Наступаетъ, наконецъ, моментъ, когда общая сумма достигаетъ своего maximum'а; это первый maximum. Послѣ перваго maximum'а наступаютъ самые жаркіе часы дня. Паровъ въ воздухѣ много, и дальнѣйшее возрастаніе ихъ (т. е. второго члена) идетъ медленно. Но въ это время первый членъ быстро уменьшается, и вся сумма уменьшается, доходя въ 4 ч. до minimum'а. Послѣ 4 ч. восходящіе токи убываютъ, количество паровъ уменьшается (первое явленіе происходитъ интенсивнѣе второго), и общая сумма возрастаетъ. Ночью, вслѣдствіе пониженія температуры, большая

Digitized by Google

часть паровъ, находящихся въ воздухѣ, переходитъ въ жидкое состояніе; это обстоятельство влечетъ за собой утренній minimum.

Является только вопросъ, можетъ ли сочетаніе двухъ явленій, изъ которыхъ каждое имѣетъ одинъ maximum и одинъ minimum, вызвать явленіе съ двумя maximum'ами и двумя minimum'ами. Ниже приводимыя *произвольныя* числа, въ которыхъ однако сохраненъ ходъ измѣненія, соотвѣтствующій измѣненію температуры и паровъ, на конкретномъ примѣрѣ поясняютъ намъ возможность такого результата. I ый рядъ обозначаетъ часы сутокъ, начиная отъ полуночи; II-ой—произвольныя числа, характеризующія измѣненія второго слагаемаго (упругости паровъ); III-й—произвольныя числа, выражающія измѣненія перваго слагаемаго (давленія сухого воздуха); IV ый—общая сумма.

I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	пд.
II	6	4	3	3	20	30	40	50	60	70	80	90
III	11	12	12	0	—2	—3	—4	—5	—10	—25	—40	—60
IV	17	16	15	3	18	27	36	45	50	45	40	30
I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	пн.
II	100	110	120	110	90	70	50	40	30	20	10	7
III	—75	—90	—105	—100	—70	—45	—20	0	5	8	9	10
IV	25	20	15	10	20	25	30	40	35	28	19	17.

Но дѣло въ томъ, что это объясненіе, ариѳметически возможное, основано на допущеніи существованія *самостоятельной* атмосферы паровъ, что рѣшительно опровергается какъ теоріей, такъ и наблюденіями (см. стр. 200).

Нѣкоторый намекъ на возможность болѣе строгаго рѣшенія вопроса о суточныхъ колебаніяхъ давленія даетъ намъ, такъ называемый, гармоническій анализъ. При помощи особаго аналитическаго пріема, возможно разложить сложное колебаніе извѣстнаго періода на составныя его части. При этомъ разложеніи, мы получаемъ, прежде всего, *первую* періодическую часть; она обнимаетъ всѣ элементы явленія, которые, въ теченіе прежняго періода, проходятъ *одинъ* разъ всѣ возможныя значенія; далѣе, выдѣляемъ *вторую* періодическую часть, въ которой всѣ элементы пробѣгаютъ, въ теченіе того же періода, *два* раза всѣ значенія и т. д.

Digitized by Google

Изложимъ здѣсь элементарный пріемъ для разложенія сложнаго суточнаго колебанія барометра на составныя его части (гармоническіе конституэнты).

Подыщемъ такую эмпирическую формулу, которая бы выражала суточный ходъ давленія. Эта формула должна давать, для различныхъ часовъ сутокъ, періодически повторяющіяся значенія; такому условію удовлетворяетъ тригонометрическая функція. Если высоту барометра въ извѣстный часъ (h) дня обозначимъ черезъ y, то

$$y = a\,Sin\,(30\,h). \qquad (1)$$

И дѣйствительно, если

$$h = 0,\ 1,\ 2,\ 3,\ 4,\ \ldots 6,\ 7,\ 8,\ 9,\ldots,$$

$$y = 0,\ \frac{a}{2},\ \frac{a\sqrt{3}}{2},\ a,\ \frac{a\sqrt{3}}{2},\ \ldots 0,\ -\frac{a}{2},\ -\frac{a\sqrt{3}}{2},\ -a,\ldots,$$

т. е. величина, вычисленная по формулѣ (1), претерпѣваетъ періодическія колебанія, измѣняясь отъ нѣкотораго максимума a до минимума $-a$; въ теченіе 24 часовъ она проходитъ два раза черезъ максимумъ и два раза черезъ минимумъ. Амплитуда колебаній равна $2a$; періодъ — 24 часа. Такимъ образомъ, формула (1) можетъ служить, приблизительно, аналитическимъ выраженіемъ суточнаго хода давленія. Примѣнимъ ее къ тропическому поясу. Въ тропическомъ поясѣ средняя амплитуда колебаній равна 2 мм.; слѣдовательно, для тропическаго пояса формула наша приметъ видъ

$$y = 1.Sin\,(30\,h) = Sin\,(30\,h).$$

Но, вычисляя по этой формулѣ давленія для разныхъ часовъ сутокъ, найдемъ, что первый максимумъ падаетъ на три часа ночи; между тѣмъ, въ дѣйствительности, первый минимумъ имѣетъ мѣсто въ 4 часа утра и равенъ 1.0 мм. Очевидно, что нашу формулу необходимо видоизмѣнить такъ, чтобы, при $h=4$, она давала $y=-1.0$. Для этого остается только видоизмѣнить величину, стоящую подъ знакомъ синуса такимъ образомъ, чтобы

$$y = Sin\,(30\times 4 + x) = -1,$$

Digitized by Google

откуда $x=150^0$. Исправленная формула будетъ имѣть видъ

$$y=Sin(30\,h+150^0). \qquad (2)$$

Если бы эта формула служила точнымъ выраженіемъ хода суточныхъ колебаній давленія, то, вычисливъ по этой формулѣ давленія и сравнивъ ихъ съ дѣйствительными, мы должны были бы получить тождественныя числа. Оказывается, однако, что этого нѣтъ на самомъ дѣлѣ, и между вычисленными и наблюденными числами существуетъ разница. Разсматривая эти разности, мы замѣтимъ, что онѣ, въ свою очередь, распредѣлены по нѣкоторому закону: въ одну половину сутокъ разницы положительны, въ другую — отрицательны; начиная отъ полуночи, онѣ возрастаютъ къ 7 час. утра, потомъ уменьшаются до минимума и опять увеличиваются. Наибольшая величина отклоненія отъ средняго равна 0.29 мм. Слѣдовательно, и сама разность можетъ быть выражена кривой съ однимъ суточнымъ максимумомъ (7 час. утра) и однимъ минимумомъ (7 час. веч.). Изъ этого можно заключить, что суточныя колебанія давленія обусловливаются не одной, а двумя причинами: одна причина вызываетъ колебанія съ 2-мя maximum'ами и 2-мя minimum'ами (т. е. колебанія полусуточныя), другая — суточныя. Отсюда слѣдуетъ, что формула (2) не вполнѣ выражаетъ явленіе, а только первую часть его. Постараемся выразить еще и вторую часть — суточное колебаніе, зависящее отъ какой то другой причины, періодически, разъ въ сутки, повторяющейся. Разсуждаемъ совершенно такъ же, какъ и прежде: вторая причина вызываетъ періодичность, значитъ, она должна быть выражена тригонометрической формулой. Пусть эта формула будетъ $y_1=b\,Sin(15\,h)$. Въ этой формулѣ множитель b по прежнему равенъ половинѣ амплитуды, т. е. 0.29 мм.; слѣдовательно, $y_1=0.29\,Sin(15\,h)$. Эта формула должна давать maximum въ 7 час. утра. Оказывается, однако, что по ней maximum приходится на 6 час. Стало быть, подъ знакомъ синуса нужно прибавить какую то величину такъ, чтобы $y=0.29\,Sin(15\times 7+x_1)=0.29$; откуда $x_1=-15^0$ или 345^0 (дополненіе до 360^0). Значитъ, второй гармоническій конституэнтъ будетъ

$$y_1=0.29\,Sin(15h+345^0). \qquad (3)$$

Digitized by Google

Такимъ образомъ, мы разложили сложное явленіе на 2 колебанія: одно *полусуточное* и другое *суточное*, и полный ходъ колебанія барометра окончательно выразится:

$$Y = Sin(30h + 150^{\circ}) + 0.29 Sin(15h + 345^{\circ}). \qquad (4)$$

Очевидно, что первая причина могущественнѣе второй, такъ какъ она даетъ полуколебаніе въ 1 мм., а вторая въ 0.29 мм. Можно было бы провѣрить послѣднюю формулу и найти еще третій членъ; но, въ дѣйствительности, вліяніе третьей причины такъ ничтожно, что производимымъ ею колебаніемъ можно пренебречь.

Является вопросъ, какія причины вызываютъ каждое изъ этихъ колебаній? Для рѣшенія его нужно изучить каждый конституэнтъ отдѣльно. Сопоставимъ между собою формулы, составленныя для различныхъ станцій:

островъ Jersey	$y = 0\ 27\ Sin(2t + 144) + 0.04\ Sin(t + 262)$
Valentia	$y = 0.20\ Sin(2t + 146) + 0\ 22\ Sin(t + 190)$
Kew	$y = 0.24\ Sin(2t + 144) + 0.21\ Sin(t + 20)$
Иркутскъ	$y = 0.26\ Sin(2t + 157) + 0.76\ Sin(t + 5)$
Klagenfurt	$y = 0.27\ Sin(2t + 156) + 0.58\ Sin(t + 23)$
Kalóssa (Венгрія)	$y = 0.25\ Sin(2t + 137) + 0.22\ Sin(t + 357)$
Säntis (ясн. дни)	$y = 0.18\ Sin(2t + 124) + 0.34\ Sin(t + 218)$
Säntis (пасм. дни)	$y = 0.20\ Sin(2t + 130) + 0.23\ Sin(t + 147)$
Sonnblick	$y = 0.18\ Sin(2t + 110) + 0.32\ Sin(t + 182)$

Въ этихъ выраженіяхъ, t—есть время, считаемое отъ полуночи; такъ какъ сутки (1440 минутъ) соотвѣтствуютъ длинѣ періода, то единица времени соотвѣтствуетъ 4 минутамъ, а часъ равенъ 15 единицамъ.

Если произведемъ такое разложеніе для большаго числа пунктовъ, лежащихъ въ различныхъ широтахъ, и сравнимъ между собою ихъ амплитуды и фазы, (добавочный уголъ подъ знакомъ синуса), то замѣтимъ слѣдующее.

1) *Полусуточныя* колебанія обнаруживаютъ замѣчательную правильность. Время наступленія точекъ поворота, на всемъ земномъ шарѣ до 60° широты, почти одно и то же (максимумъ

Digitized by Google

въ 9—10 час. утра и въ 9—10 час. вечера, минимумъ въ 3—4 часа утра и 3—4 часа дня). Волна полусуточнаго колебанія, съ двумя гребнями, въ теченіе сутокъ обтекаетъ весь земной шаръ. Волна эта у экватора подается нѣсколько впередъ и отстаетъ по мѣрѣ удаленія отъ него. Амплитуды колебаній уменьшаются къ полюсамъ, приблизительно, въ отношеніи квадрата косинуса широты:

широта	0°	10	20	30	40	50	60
амплитуда въ мм. .	0.98	0.92	0.81	0.65	0.46	0.27	0.09.

Амплитуды эти обнаруживаютъ *годовой* ходъ. Онѣ достигаютъ наибольшей и наименьшей величины въ одно и то же время. Максимумъ наступаетъ во время равноденствій, а минимумъ — во время солнцестояній. Но въ іюнѣ этотъ минимумъ меньше, чѣмъ въ декабрѣ. Амплитуды, на всемъ земномъ шарѣ, въ перигеліи нѣсколько больше, чѣмъ въ афеліи. Фазы и амплитуды почти не зависятъ отъ состоянія погоды. Ясно, слѣдовательно, что полусуточное колебаніе имѣетъ общее происхожденіе и не зависитъ отъ земныхъ вліяній.

2) Разсматривая гармоническій конституэнтъ *суточнаго* хода, можно видѣть, что, какъ амплитуды такъ и фазы, весьма различны и мѣняются въ зависимости отъ мѣстныхъ условій. Слѣдовательно, эту суточную волну можно разсматривать, какъ пертурбацію въ полусуточной, и ходъ ея имѣетъ исключительно мѣстное происхожденіе. Нетрудно даже прослѣдить, въ отдѣльныхъ случаяхъ, характеръ этой пертурбаціи. Напримѣръ, на вершинѣ Монблана, первый максимумъ запаздываетъ до 3 ч. р. и сильно увеличенъ: дневной минимумъ и вечерній максимумъ почти исчезаютъ; кривая представляетъ одинъ максимумъ и одинъ минимумъ, которые почти совпадаютъ съ максимумомъ и минимумомъ дневной температуры. Нетрудно понять этотъ ходъ. Ночью воздухъ охлажденъ, поверхность уровня понижена; количество воздуха, находящагося надъ вершиной уменьшено, слѣдовательно, давленіе понижено. Днемъ имѣетъ мѣсто обратное. Воздухъ расширенъ, поверхность уровня приподнята, количество воздуха надъ вершиной увеличено; слѣдовательно, давленіе выше нормальнаго. Эти измѣненія, чисто *термическаго* свойства, накладываются на общее полусуточное колебаніе и даютъ дѣйствительное измѣненіе давленія на Монбланѣ:

Digitized by Google

1 мин.	1 макс.	2 мин.	2 макс.
—0.5	0.5	0.1	0.3
5 ч. а	3 ч. р	8 ч. р.	10 ч. р.

Нѣсколько выше мы показали элементарный пріемъ для разложенія періодическаго колебанія на его составныя части. Но существуетъ общій способъ для вычисленія амплитудъ и фазъ отдѣльныхъ гармоническихъ конституэнтовъ. Это формула Лэмберта-Бесселя.

Вообще, суточная волна можетъ быть объяснена дѣйствіемъ инсоляціи на нижніе слои нашей атмосферы. Подъ дѣйствіемъ этой инсоляціи, происходитъ увеличеніе упругости нижнихъ слоевъ воздуха и образованіе восходящихъ токовъ въ одну половину сутокъ, уменьшеніе упругости и развитіе нисходящихъ токовъ въ другую половину.

Что же касается волны полусуточной, то, до настоящаго времени, не существуетъ удовлетворительнаго объясненія ея происхожденія. Но нельзя сомнѣваться, что и эта волна, своимъ происхожденіемъ, обязана тоже солнечной инсоляціи, такъ какъ ея фазы тѣсно связаны съ мѣстнымъ временемъ, т. е. съ суточнымъ видимымъ движеніемъ солнца. Нельзя, какъ мы уже замѣтили, приписывать ее дѣйствію тяготѣнія, такъ какъ, въ этомъ случаѣ, выступило бы болѣе сильное вліяніе луны, чего наблюденія не обнаруживаютъ.

Хотя вопросъ о происхожденіи полнаго суточнаго колебанія барометра еще далекъ отъ своего окончательнаго рѣшенія, но гармоническій анализъ намѣтилъ путь, по которому должны быть направлены дальнѣйшія изслѣдованія въ этой области.

Распредѣленіе давленія на земной поверхности; барометрическій градіентъ. Давленіе распредѣлено на земной поверхности крайне неравномѣрно. Для изученія этого распредѣленія, можно примѣнить тотъ же методъ, который былъ использованъ раньше при изученіи распредѣленія температуры, т. е. картографическій. Нужно нанести на карту давленія, *приведенныя*, помощью формулы барометрическаго нивеллированія, къ одному и тому же уровню, напримѣръ, къ уровню океана; точки, имѣющія одно и то же давленіе соединить кривыми линіями—изобарами. Можно построить карту *мгновенныхъ изобаръ* для извѣстнаго даннаго момента времени, или карты *пятидневныхъ, мѣсяч-*

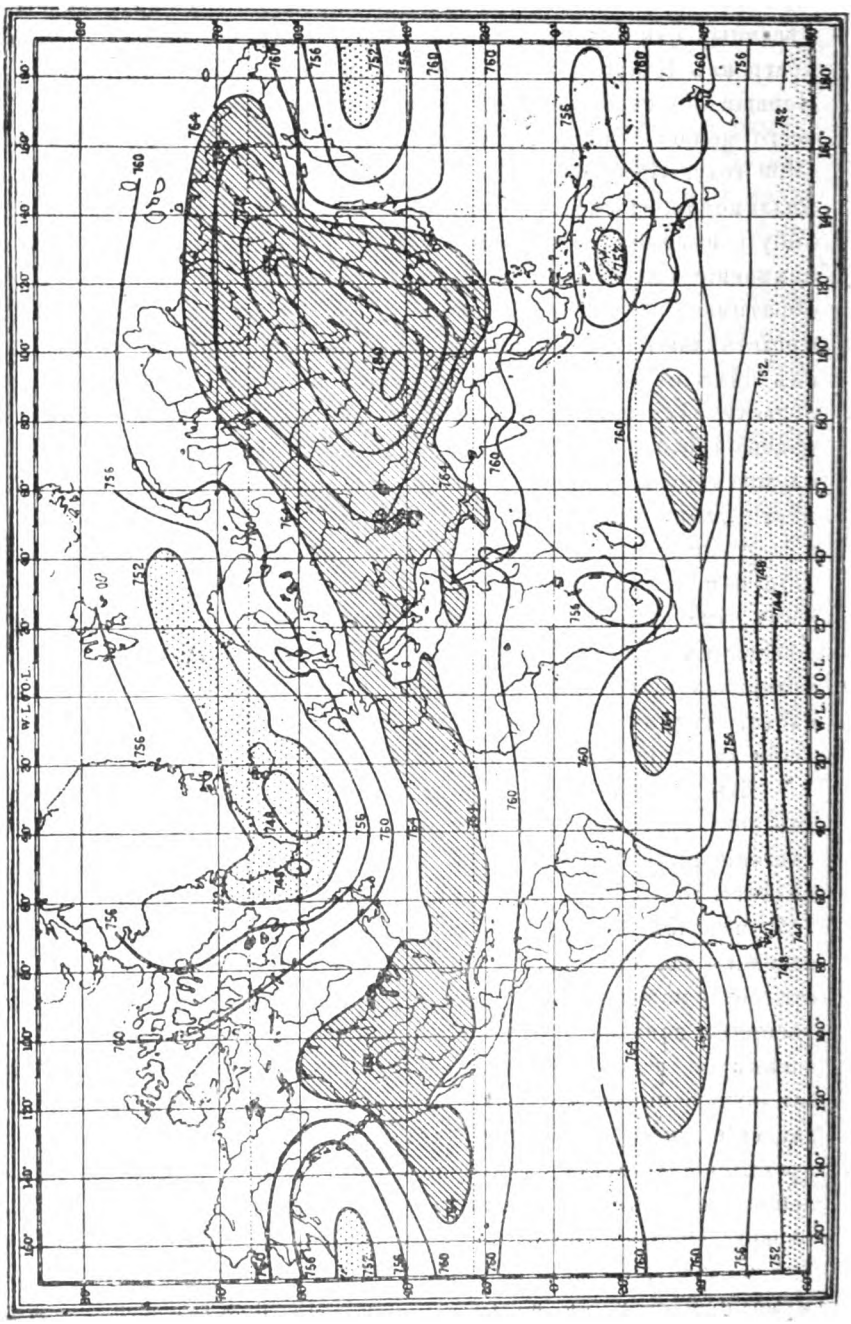
Digitized by Google

ныхъ или *годовыхъ* изобаръ, положивъ въ основу ихъ пятидневныя, мѣсячныя или годовыя среднія. Первую карту годовыхъ изобаръ построилъ Renou для Франціи и сосѣднихъ странъ въ 1864 году. Первый опытъ составленія мѣсячныхъ и годовыхъ картъ для всего земного шара принадлежитъ англичанину Buchan'у въ 1869 году. Изобары можно строить черезъ каждые 2, 3 и болѣе миллиметра. Очевидно, что если мы будемъ итти вдоль какой-нибудь изобары, то *измѣненіе* давленія равно нулю. Наибольшее измѣненіе давленія происходитъ по нормали къ изобарѣ. Если обратимся къ картамъ изобаръ, то замѣтимъ, что изобары представляютъ въ высшей степени изогнутыя линіи; нѣкоторыя изъ нихъ имѣютъ форму замкнутыхъ контуровъ, окаймляющихъ области высокихъ или низкихъ давленій. Изобары не одинаково густо расположены одна относительно другой. Все это служитъ доказательствомъ того, что давленіе на земной поверхности распредѣлено крайне неравномѣрно.

Если построимъ карты послѣдовательно для всѣхъ дней года или, по крайней мѣрѣ, для всѣхъ мѣсяцевъ года, то замѣтимъ, что изобары, отъ одного дня къ другому или отъ одного мѣсяца къ другому, претерпѣваютъ послѣдовательныя измѣненія, подчиняющіяся извѣстной законности. Въ этой части нашей книги, ограничимся краткимъ обозрѣніемъ средняго распредѣленія давленія въ январѣ и іюлѣ.

Въ январѣ (фиг. 158) вдоль экватора тянется поясъ слабаго давленія (барическій экваторъ). Внутри этого пояса среднее давленіе ниже 760 мм.; надъ материкомъ Южной Африки оно падаетъ до 756 мм., а на сѣверо-западѣ Новой Голландіи—до 752 мм. Къ сѣверу отъ баричекаго экватора давленіе постепенно повышается. Надъ океанами оно, около 30° с. ш., достигаетъ максимума, образуя два океаническіе максимума. Еще сѣвернѣе, давленіе опять падаетъ и южнѣе Аляски (въ Тихомъ океанѣ) и южнѣе Исландіи (въ Атлантическомъ) видимъ два замкнутые минимума давленія (752 мм. и 748 мм.). Къ полюсу давленіе вновь слабо возрастаетъ. Иной характеръ имѣетъ распредѣленіе давленія надъ сушей. Тутъ среднее январское давленіе непрерывно возрастаетъ, и надъ материками Азіи и сѣверной Америки образуетъ сильные максимумы (до 780 мм. и 768 мм.); эти высокія давленія, вмѣстѣ съ океаническими максимумами, образуютъ, почти непрерывный, поясъ высокихъ дав-

Digitized by Google



Фиг. 158

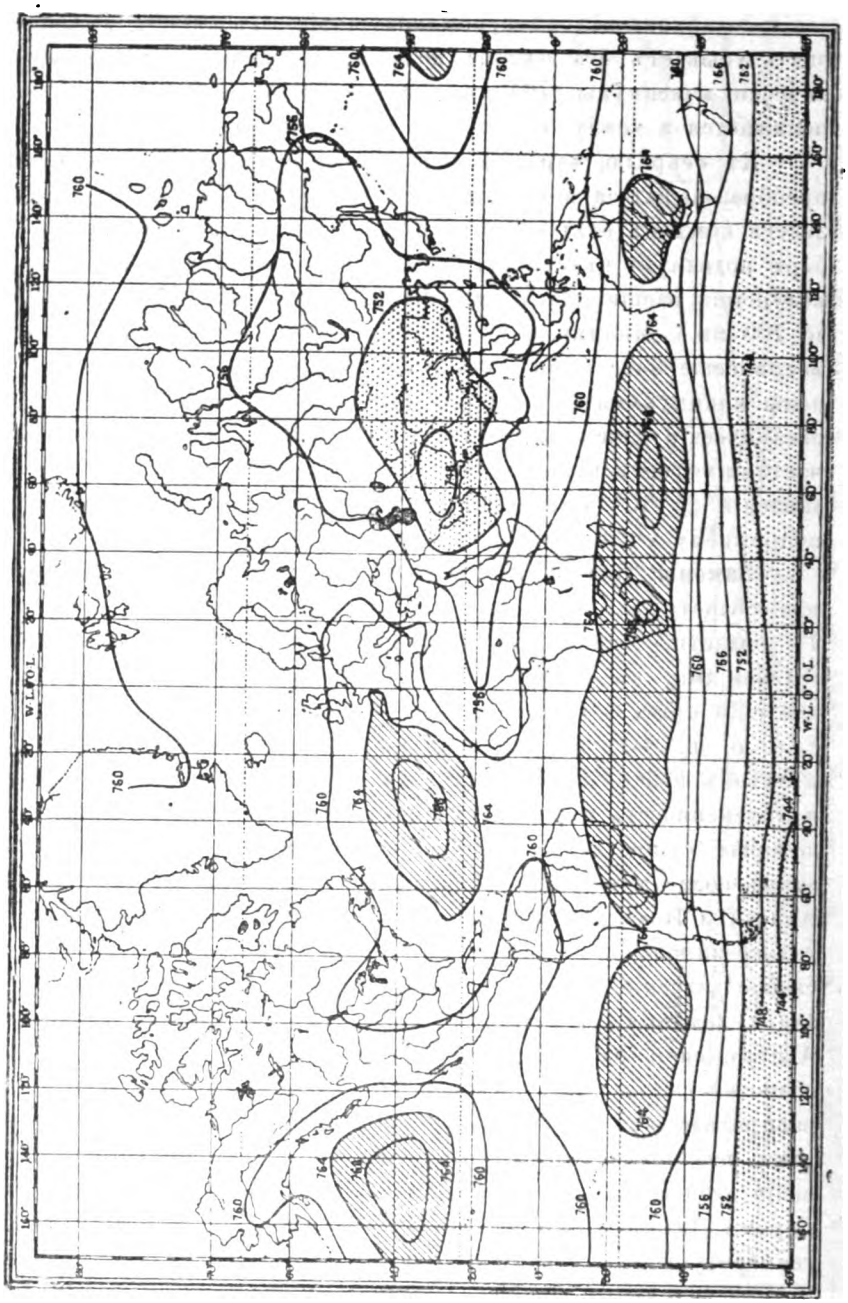
Digitized by Google

леній, окаймляющій сѣверное полушаріе. Къ сѣверу, давленіе опять убываетъ. Въ южномъ полушаріи, намѣчаются три океаническіе максимумы (764 мм.), за предѣлами которыхъ давленіе понижается и между 55°—60° ю. ш. достигаетъ 744 мм.

Къ февралю, марту и далѣе, указанная схема начинаетъ преобразовываться и къ іюлю вся система кривыхъ представляется намъ въ слѣдующемъ видѣ (фиг. 159). Вся система изобаръ подвинута къ сѣверу. Океаническіе максимумы сѣвернаго полушарія расширились и усилились (въ Атлантическомъ океанѣ до 766 мм.). Минимумы у Исландіи и Аляски исчезли. Барометрическіе максимумы надъ Азіей и Сѣверной Америкой замѣнены минимумами (надъ Азіей 748 мм.). Въ южномъ полушаріи, океаническіе максимумы, вмѣстѣ съ максимумами надъ южными частями материковъ, образуютъ почти сплошное кольцо высокихъ давленій до 40° южной широты. Далѣе къ полюсу, давленіе, попрежнему убываетъ.

Законы Тейссеранъ-де-Вора. Тейссеранъ-де-Боръ дѣлитъ всѣ области высокихъ и низкихъ давленій на три группы: 1) области годовыя, которыя существуютъ, съ небольшими колебаніями, въ теченіе цѣлаго года; таковы: поясъ слабыхъ давленій вдоль экватора и области высокихъ давленій до 30° с. и ю. ш. надъ всѣми океанами; эти области существуютъ и лѣтомъ и зимою, только лѣтомъ онѣ передвинуты къ сѣверу и интенсивность ихъ немного измѣнена; 2) сезонныя области, которыя существуютъ только въ извѣстное время года; къ этимъ областямъ можно отнести области низкихъ давленій южнѣе Аляски и Исландіи; области эти, какъ мы видѣли, существуютъ только зимой; 3) области обратимыя—это области, въ которыхъ слабое давленіе лѣтомъ смѣняется высокимъ зимой; таковы области, лежащія въ среднихъ широтахъ надъ Азіей, Америкой, Австраліей и южной частью Африки. Если сравнить положеніе областей высокихъ и низкихъ барометрическихъ давленій съ распредѣленіемъ температуры на земной поверхности, то замѣтимъ, что между ними существуетъ зависимость. Подробное изученіе этой связи сдѣлано французскимъ ученымъ Тейссеранъ-де-Боромъ. Изъ сравненія распредѣленія давленія съ распредѣленіемъ температуры на земной поверхности Тейссеранъ-де-Боръ пришелъ къ слѣдующимъ двумъ законамъ: 1) если въ извѣстной области замѣчается избытокъ теплоты, абсолютный или только по отно-

Digitized by Google



Фиг. 159.

Digitized by Google

шенію къ окружающимъ мѣстамъ и географической широтѣ, то въ этой области является стремленіе къ образованію слабаго давленія; на основаніи этого закона, легко объяснить образованіе областей слабыхъ давленій надъ южными частями Африки, Австраліи и Америки въ январѣ мѣсяцѣ, а также надъ Азіей и С. Америкой въ іюлѣ мѣсяцѣ; 2) если въ извѣстномъ мѣстѣ замѣчено пониженіе температуры, абсолютное или только по отношенію къ окружающимъ мѣстамъ и географической широтѣ, то въ этомъ мѣстѣ является стремленіе къ образованію барометрическаго максимума. Чтобы подтвердить эти законы, стоитъ только сравнить карты изобаръ, изаномалій и изотермъ (см. стран. 465). Область слабыхъ давленій вдоль экватора совпадаетъ съ поясомъ наибольшихъ температуръ, который мы называли термическимъ экваторомъ. Этотъ термическій экваторъ, какъ мы видѣли, зимой лежитъ южнѣе, лѣтомъ сѣвернѣе. Мы видимъ затѣмъ, что въ январѣ существуетъ область слабыхъ давленій южнѣе Исландіи и Аляски; именно, въ этихъ мѣстахъ карты изаномалій указываютъ намъ на избытокъ температуры надъ температурами соотвѣтственныхъ параллелей. Обратимыя области надъ Азіей и Америкой вполнѣ совпадаютъ съ областями положительныхъ отклоненій температуры въ іюлѣ и съ областями отрицательныхъ отклоненій въ январѣ.

Но далеко не всѣ особенности въ распредѣленіи давленія можно объяснить термическими причинами. Напримѣръ, распредѣленіе давленія въ области океаническихъ максимумовъ, лежащихъ около 30° с. и ю. широты не находится ни въ какой зависимости отъ температуры. Въ американскомъ полюсѣ холода не встрѣчаемъ вовсе максимума давленія: барометръ падаетъ съ увеличеніемъ холода до января и впервые начинаетъ подыматься весною. Надъ Сѣверной Америкой давленіе падаетъ къ сѣверу вмѣстѣ съ температурой. Такое же несоотвѣтствіе между давленіемъ и температурой замѣчается въ низшихъ широтахъ южнаго полушарія, гдѣ давленіе непрерывно падаетъ къ полюсу. Дальше мы увидимъ, что эти отступленія обусловлены *динамическими* причинами.

Изъ картъ изобаръ видно, что давленіе на земной поверхности распредѣлено крайне неравномѣрно. Для опредѣленія степени измѣненія давленія въ данномъ мѣстѣ служитъ *барометрическій градіентъ*. Барометрическимъ градіентомъ называютъ измѣ-

Digitized by Google

неніе давленія на единицу разстоянія (1 градусъ меридіана= 111.1 километра), считая по нормали къ изобарѣ въ сторону падающаго давленія. Способъ опредѣленія барометрическаго градіента тождественъ съ опредѣленіемъ термометрическаго градіента (см. стран. 456).

Годовыя колебанія давленія. Годовыя колебанія барометра являются простымъ слѣдствіемъ географическаго распредѣленія давленія и его измѣненій. Общій характеръ этихъ колебаній можно установить a priori на основаніи мѣсячныхъ картъ изобаръ. Такъ напримѣръ, очевидно, что на сѣверо-востокѣ Азіи зимою давленіе должно достигать максимума, а лѣтомъ—минимума. На Исландіи должно быть обратное распредѣленіе, т. е. максимумъ — въ лѣтніе мѣсяцы, а минимумъ—въ январѣ. Вообще, годовыя колебанія можно сгруппировать въ три главныхъ типа.

1) Континентальный типъ: зимою — макс., лѣтомъ — мин.:

	Барнаулъ	Лукъ-Чунъ (42° с. ш., на 17 м. ниже у. м.)
январь	757.3	781.7
іюль	730.9	752.8
амплитуда	16.4	28.9.

2) Океаническій типъ: максимумъ—лѣтомъ, минимумъ—поздней осенью; кромѣ того, отличительной особенностью является второстепенный максимумъ зимою:

Азорскіе острова

іюль	766.8 мм.	январь	763.5 мм.	вторичные макс. и мин.
ноябрь	761.7 »	августъ	762.4 »	
амплитуда	5.1 »	амплитуда	1.1 »	

Второй отличительной чертой является малая амплитуда колебаній:

Бермудскіе острова

іюнь	764.9 мм.	январь	764.7 мм.	вторичные макс. и мин.
октябрь	762.0 »	апрѣль	762.4 »	
амплитуда	2.9 »	амплитуда	2.3 »	

3) Арктическій и субарктическій типъ: максимумъ—въ апрѣлѣ или маѣ, а минимумъ—въ февралѣ или январѣ. Приве-

Digitized by Google

демъ числа для сѣверныхъ береговъ Европы, указывающія отступленія отъ средняго давленія:

апрѣль . . .	+3.7 мм.
январь . . .	−5.5 »
амплитуда . .	9.2 » .

На горахъ зимою давленіе понижается, а лѣтомъ повышается:

	высота	минимумъ	максимумъ	разность
St. Bernard	2466 м.	559.3 (мартъ)	568.5 іюль	9.2
Sonnblick	3106 »	514.4 »	525.0 »	10.6
Pikes Peak	4308 »	443.4 (февраль)	459.6 »	16.2.

Годовой ходъ давленія по пятидневіямъ, вычисленный на основаніи многолѣтнихъ наблюденій въ Одессѣ, можно видѣть на фиг. 121 (стран. 443 кривая AA).

Среднее давленіе по параллелямъ. Spitaler и Ferrel вычислили средніе давленія отдѣльныхъ параллелей въ мм.:

широта	январь	іюль	годъ	широта	январь	іюль	годъ
80° с. ш.	757.5	58.8	60.5	10° ю. ш.	757.8	60.9	59.1
70 » »	60.1	57.6	58.6	20 » »	58.5	63.5	61.7
60 » »	60.8	57.7	58.7	30 » »	61.0	65.1	63.5
50 » »	62.3	58.9	60.7	35 » »	62.0	63.9	62.4
40 » »	63.9	60.0	62.0	40 » »	61.9	60.6	60.5
35 » »	64.8	59.8	62.4	50 » »	52.7	52.8	53.2
30 » »	65.0	59.3	61.7				
20 » »	62.3	58.0	59.2				
15 » »	60.5	57.5	58.3				
10 » »	59.1	57.7	57.9				
0 » »	58.0	59.1	58.0				

Изъ таблицы видно, что поясъ наиболѣе слабаго давленія (барометрическій экваторъ) находится, въ годовыхъ среднихъ, подъ 10° с. ш., въ январѣ—подъ 10° ю. ш., а въ іюлѣ—подъ 15° с. ш. Океаническій максимумъ держится около 30°—40° с. и ю. ш. Въ январѣ, въ сѣверномъ полушаріи давленіе убываетъ

Digitized by Google

до 80° с. ш.; въ іюлѣ оно уменьшается до 70° с. ш., а затѣмъ опять возрастаетъ. Въ южномъ полушаріи давленіе во всѣ времена года быстро падаетъ къ югу (до 50° ю. ш.). Бросается также въ глаза, что въ каждомъ полушаріи давленіе въ зимнее время больше, чѣмъ въ лѣтнее; явленіе происходитъ такъ, какъ будто часть воздуха оттекаетъ въ то полушаріе, на которомъ наблюдается зима, что согласно съ тѣми эмпирическими законами, которые формулированы Тейссеранъ-де-Боромъ (стран. 507).

Крайнія пониженія и повышенія давленія. Въ заключеніе, приведемъ крайнія пониженія и повышенія давленія, наблюдавшіяся до настоящаго времени на земномъ шарѣ. Наиболѣе низкія стоянія барометра, на уровнѣ моря, отмѣчены въ книгѣ Hann'a [1]):

2 августа 1891 года . . 686.3 мм. въ Китайскомъ морѣ,
4 февраля 1824 » . . 692.0 » » Рейкіавикѣ (Исландія),
8 декабря 1886 » . . 693.5 » » Бельфастѣ.

Наиболѣе *высокія*:

16 декабря 1877 года . . . 802.0 мм., Томскъ,
» » 1900 » . . . 803.4 » , Барнаулъ,
23 января » » . . . 808.7 » , » .

Но дѣло въ томъ, что эти давленія даны по приведеніи барометра къ уровню моря, т. е. представляютъ нѣкоторыя фиктивныя числа, особенно для Барнаула, высота котораго 170 метровъ, а поправка равна 19 мм. Ближе къ дѣйствительной величинѣ давленіе въ Томскѣ, высота котораго 73.5 метра, а поправка 8.6 мм. Въ январѣ 1907 года (20—24 января), въ восточной части Европы, наблюдали исключительно высокое давленіе. На станціяхъ, высота которыхъ надъ уровнемъ моря крайне незначительна, отмѣчено:

22 января Гельсингфорсъ. 799.0 мм. на 38.4 мм. выше янв. средняго
» » Петербургъ. . 798.8 » » 36.8 » » » »
» » Рига . . . . 799.8 » » 37.4 » » » »
» » Виндава . . . 799.8 » » 38.1 » » » »

[1]) Hann. Lehrbuch der Meteorologie. Leipzig. 1905. S. 155—156.

Digitized by Google

Это наиболѣе высокія давленія, когда-либо непосредственно наблюдавшіяся на земной поверхности [1]). Въ Одессѣ барометръ, 24 января, достигъ 794.0 мм. Такимъ образомъ, можно принять, что давленіе, на уровнѣ океана, колеблется въ предѣлахъ 113.5 мм.

Литературныя указанія.

A) *Методы наблюденій.*

1) *Wild. Ueber die Bestimmung des Luftdruckes. Repertorium für Meteorologie redig. von Wild. Bd. III, 1874.

2) *Wild. Die Normalbarometer des physikalischen Central-Observatoriums zu St.-Petersburg. Ibidem., Bd. XVI, № 4, 1893.

3) *Hartl. Anleitung zum trigonometrischen und barometrischen Höhenmessungen. Wien. 1884.

4) *Schreiber. Handbuch der barometrischen Höhenmessungen.

B) *Суточныя и неправильныя колебанія давленія.*

5) *Rykatcheff. La marche diurne du baromètre en Russie. Wild's Repertorium für Meteorologie. Bd. VI, 1879.

6) *Hann. Ebbe und Fluth im Luftmeer der Erde. Berlin. 1894.

7) Hann. Untersuchungen über die tägliche Oscillation des Barometers. Wien. 1889.

8) Korselt. Ueber die Ursachen der täglichen Oscillation des Barometers. Bericht über das Königliche Realgymnasium zu Annaberg. 1891.

9) *Angot. Etude sur la marche du baromètre. Annales du bureau météorologique central de France. 1887.

10) *Schönrock. Ueber die kleine unregelmässige Barometer-Schwankungen. Wild's Repertorium für Meteorologie. Bd. IX. 1885.

C) *Географическое распредѣленіе давленія на земной поверхности.*

11) *Hann. Die Vertheilung des Luftdruckes über Mittel- und Süd- Europa. Wien. 1887.

[1]) Meteorologische Zeitschrift. 1907, S. 120—121 (замѣтки Hann'a и Воейкова).

Digitized by Google

12) * Rung. Répartition de la pression atmosphérique sur l'Europe. Copenhague. 1901.

13) * Rung. Répartition de la préssion atmospérique sur l'Océan Atlantique septentrional. Copenhague. 1894.

14) * Тилло. Распредѣленіе атмосфернаго давленія на пространствѣ Россійской Имперіи и Азіятскаго материка. Спб. 1891.

15) * Rykatcheff. La distribution de la pression atmosphérique dans la Russie d'Europe. Wild's Repertorium für Meteorologie. Bd. IV, 1875.

16) * Воейковъ. Климаты земного шара. Спб. 1884.

17) * Hann. Handbuch der Klimatologie. Stuttgart. 1895.

18) * Климатическій атласъ Россійской Имперіи, изд. Главной Физической Обсерваторіей. Спб. 1900.

19) * Bartolomew. Physikal Atlas, 1899.

20) * Berghaus. Physikal. Atlas. 1896.

XII.

Образованіе гидрометеоровъ.

Общая причина образованія осадковъ. Образованіе росы; первоначальная теорія Леруа и Уэльса. Дополненія Жамена. Дополненіе Айткена и Ресселя. Распредѣленіе температуры въ нижнихъ слояхъ воздуха во время образованія росы. Иней. Количество росы и ея распредѣленіе. Изморозь. Гололедица; ледяной дождь. Туманы. Смѣшеніе двухъ массъ воздуха, насыщенныхъ парами и имѣющихъ различныя температуры. Адіабатическое расширеніе воздуха; восходящіе токи. Волнистыя облака. Структура эмбріональныхъ жидкихъ элементовъ тумана. Размѣръ эмбріональныхъ элементовъ конденсаціи. Роль пыли. Роль отрицательныхъ и положительныхъ іоновъ. Дальнѣйшія стадіи образованія верхнихъ осадковъ: процессъ образованія дождя. Величина капель и ихъ распредѣленіе. Образованіе снѣга. Формы снѣжинокъ; снѣговые цвѣты. Формы градинъ. Химическій анализъ осадковъ. Облака, ихъ форма и высота. Облачность; нефоскопы. Дождемѣры и дождеграфы. Географическое распредѣленіе осадковъ. Ливни. Снѣговая линія; лавины и глетчеры.

Литературныя указанія.

Общая причина образованія осадковъ. Намъ извѣстно, что вода въ атмосферѣ испытываетъ различныя преобразованія,

Digitized by Google

переходя изъ одного физическаго состоянія въ другое. Переходы эти сопровождаются выдѣленіемъ или поглощеніемъ нѣкотораго количества тепла (скрытое тепло плавленія и испаренія), а также измѣненіемъ многихъ ея физическихъ свойствъ (плотности, теплоемкости и т. под.). Причины, вызывающія эти трансформаціи, могутъ быть весьма разнообразны; отсюда понятно то разнообразіе *водяныхъ осадковъ* или *гидрометеоровъ*, которое мы наблюдаемъ въ природѣ. Совокупность этихъ явленій составляетъ, въ широкомъ смыслѣ этого слова, замкнутую цѣпь *круговорота* воды на земной поверхности. Мы уже разсмотрѣли одну вѣтвь этого круговорота, именно, испареніе воды и его законы. Теперь предстоитъ разсмотрѣть другую, болѣе сложную, часть цикла—переходъ паровъ въ жидкое и твердое состояніе и связанныя съ нимъ явленія.

Переходъ воды изъ газообразнаго состоянія въ жидкое, а также изъ жидкаго въ твердое, обусловливается въ нашей атмосферѣ, вообще, охлажденіемъ. Въ частности, конденсація паровъ можетъ быть вызвана разнообразными причинами:

1) лучеиспусканіемъ поверхности почвы къ холодному междупланетному пространству или къ холоднымъ верхнимъ слоямъ атмосферы;

2) прикосновеніемъ массъ влажнаго воздуха къ поверхности, охлажденной предшествовавшими холодами;

3) испареніемъ съ поверхности, имѣющей болѣе высокую температуру, въ среду болѣе низкой температуры;

4) непосредственнымъ лучеиспусканіемъ влажныхъ массъ воздуха къ сильно охлажденной поверхности земли или къ средѣ болѣе низкой температуры;

5) смѣшеніемъ двухъ, насыщенныхъ или близкихъ къ насыщенію, массъ воздуха, имѣющихъ различныя температуры;

6) адіабатическимъ расширеніемъ воздуха.

Образованіе росы; первоначальная теорія Леруа и Уэльса. Мы уже знаемъ, что послѣ заката солнца, когда приходъ солнечнаго тепла прекращается, выступаетъ въ полной силѣ ночное лучеиспусканіе. Поверхность почвы охлаждается; охлаждаются также прилегающіе къ ней слои воздуха, и содержащіеся въ нихъ пары воды, болѣе и болѣе, приближаются къ состоянію насыщенія; наконецъ, наступаетъ моментъ, когда пары

Digitized by Google

начинаютъ осаждаться на поверхности различныхъ предметовъ Если осажденіе происходитъ при температурѣ выше нуля, то получается *роса*; при температурѣ ниже нуля, осаждающіеся пары образуютъ *иней*. Эта простѣйшая теорія росы и инея формулирована первоначально физиками Леруа и Уэльсомъ. Очевидно, что, съ точки зрѣнія этого объясненія, осажденіе росы, при одинаковыхъ прочихъ условіяхъ, будетъ тѣмъ обильнѣе, чѣмъ сильнѣе ночное охлажденіе. Но мы раньше видѣли (глава VI), что охлажденіе вслѣдствіе ночного остыванія, тѣмъ интенсивнѣе, чѣмъ яснѣе и безоблачнѣе небо; сильнѣе охлаждаются непроводники, особенно съ черной и шероховатой поверхностью; особенно сильному охлажденію подвержена поверхность, покрытая травой. Сообразно съ этимъ, роса будетъ осаждаться не въ одинаковомъ количествѣ въ зависимости отъ указанныхъ условій погоды и физическихъ свойствъ поверхности. Далѣе, для образованія росы, необходимъ извѣстный запасъ влаги, доставляемый нижними слоями атмосферы; поэтому, обильная роса невозможна при значительной сухости воздуха. Вѣтеръ способствуетъ испаренію, поэтому, во время вѣтра, образованіе росы замедляется или даже вовсе прекращается. Но, съ другой стороны, полное затишье не способствуетъ, даже при ясномъ небѣ, образованію обильной росы. По наблюденіямъ, произведеннымъ А. Г. Позняковымъ въ метеорологической обсерваторіи Новороссійскаго университета, наибольшее число разъ роса собрана при скорости вѣтра, въ моментъ ея образованія, въ 4—5 метровъ, а наиболѣе обильныя росы наблюдались при скорости вѣтра 5—6 метровъ въ секунду [1]). Роса можетъ образоваться иногда и при существованіи облаковъ, а именно, высокихъ, имѣющихъ низкую температуру и вызывающихъ значительное лучеиспусканіе почвы. Вообще, условія, благопріятныя для образованія обильной росы, слѣдующія: нѣкоторый запасъ влаги въ самыхъ нижнихъ слояхъ воздуха, ясное и безоблачное небо, слабое движеніе воздуха у земной поверхности. При этихъ условіяхъ, особенно обильно покрывается росой трава нашихъ луговъ и газоновъ, такъ какъ она

[1]) А. Позняковъ. Опытъ изслѣдованія химическаго состава осадковъ въ зависимости отъ метеорологическихъ факторовъ Журналъ опытной агрономіи. 1904, стр. 740.

Digitized by Google

представляетъ огромную поверхность охлажденія. Особенно обильна роса позднимъ лѣтомъ, когда воздухъ сохраняетъ еще достаточно тепла и влаги, а, между тѣмъ, ночи удлиняются и становятся болѣе холодными. Усиленіе росы особенно значительно къ утру. Такова теорія Леруа и Уэльса въ первоначальномъ ея видѣ. Позже, въ нее введенъ былъ цѣлый рядъ дополненій, хотя основная идея осталась прежняя.

Дополненія Жамена. Французскій физикъ Жаменъ указалъ, что причина охлажденія заключается не только въ ночномъ лучеиспусканіи; въ нѣкоторыхъ случаяхъ, напримѣръ, при образованіи росы на газонѣ и на листьяхъ растеній вообще, охлажденіе, въ равной мѣрѣ, зависитъ какъ отъ ночного охлажденія, такъ и отъ испаренія. Подвѣсимъ на извѣстной высотѣ три термометра: первый—съ блестящимъ шарикомъ въ термометрической защитѣ, второй—съ вычерненнымъ сухимъ резервуаромъ, третій — съ вычерненнымъ увлажненнымъ шарикомъ. Первый изъ нихъ измѣряетъ температуру воздуха; показанія второго понижены вслѣдствіе ночного лучеиспусканія; показанія третьяго термометра будутъ зависѣть отъ совмѣстнаго дѣйствія ночного лучеиспусканія и испаренія. Оказывается, что разность между показаніями перваго и третьяго термометровъ, по достиженіи ими стаціонарнаго состоянія, почти въ два раза больше, чѣмъ разность между первымъ и вторымъ. Изъ этого мы вправѣ заключить, что охлажденіе вслѣдствіе испаренія приблизительно равно охлажденію вслѣдствіе лучеиспусканія, и, слѣдовательно, оба фактора, лучеиспусканіе и испареніе, равносильны при образованіи росы. Но охлажденіе вслѣдствіе испаренія можетъ итти лишь до насыщенія среды парами; дальнѣйшее же охлажденіе происходитъ только отъ ночного лучеиспусканія. Жаменъ [1]) сдѣлалъ и другое дополненіе. Послѣ заката солнца, охлажденіе поверхности почвы идетъ быстро какъ вслѣдствіе ночного лучеиспусканія, такъ и вслѣдствіе испаренія. Когда достигнуто насыщеніе, испареніе прекращается, а выдѣляющееся скрытое тепло должно замедлять дальнѣйшее охлажденіе. И дѣйствительно, въ одномъ изъ наблюденій, Жаменъ получилъ слѣдующія температуры на поверхности травы:

[1]) Jamin. Compléments à la théorie de la rosée. Journal de Physique. VIII, p. 41.

Digitized by Google

время	температура	паденіе температуры	
3 ч. 13 м. а	11°.0		
		1°.40	
3 ч. 16 » »	9.60		
		1.05	
3 ч. 19 » »	8.55		
		0.90	(точка росы)
3 ч. 22 » »	7.65		
		0.35	
3 ч. 25 » »	7.30		
		0.30	болѣе медленное паденіе.
3 ч. 28 » »	7.00		
		0.32	
3 ч. 31 » »	6.68		

Обстоятельство это очень важно въ экономіи природы; не будь его, каждую ясную ночь на поверхности травы осаждался бы иней; но, благодаря этому процессу компенсаціи, растительность предохранена отъ частаго повторенія опасныхъ для нея утренниковъ.

Дополненіе Айткена и Ресселя. Третье дополненіе сдѣлано недавно Айткеномъ и Ресселемъ. По теоріи Леруа, запасъ влаги, изъ котораго образуется роса, получается исключительно изъ атмосферы. Но наблюденія Ресселя показали [1]), что осаждающаяся, во время образованія росы, влага можетъ получиться частью отъ испаренія съ поверхности почвы и растеній. Если на поверхность травы положить листъ бумаги, то нижняя сторона ея больше покрывается росой, чѣмъ верхняя; 2) если поверхность дерна покрыть колпакомъ, то внутренняя поверхность его покрывается обильнѣе росой, чѣмъ поверхность колпака, установленнаго надъ голой почвой; если же поставить его на металлическую пластинку, то внутренняя поверхность остается сухой. Изъ этихъ опытовъ видно, что въ образованіи росы можетъ иногда играть нѣкоторую роль влага, испаряющаяся съ поверхности земли и растеній. Въ другихъ же случаяхъ, роса образуется исключительно изъ паровъ, заключающихся въ нижнихъ слояхъ атмосферы (роса, образующаяся на крышахъ домовъ и на другихъ предметахъ).

Распредѣленіе температуры въ нижнихъ слояхъ воздуха во время образованія росы. Весьма важно изслѣдовать

---

[1]) Meteorologische Zeitschrift, 1894, S. 391 und 434 и Метеор. Вѣстникъ, 1894, № 9.

Digitized by Google

распредѣленіе тепла по вертикальному направленію, въ нижнихъ слояхъ атмосферы, во время образованія росы. Въ слѣдующей табличкѣ приведены наблюденія Глешера; въ таблицѣ показаны отклоненія температуры на различныхъ высотахъ отъ температуры воздуха въ тѣни:

почва на глубинѣ 2.5 сант.	поверхность почвы	высоты надъ поверхностью почвы въ сантим.									
		2.5	5	8	15	31	61	122	183	245	370
+1°.0	—0.9	—3.1	—2.7	—2.2	—1.3	—0.6	—0.4	—0.3	—0.2	—0.1	0.0

Наиболѣе низкая температура, какъ видно, найдена на высотѣ 2.5 сантиметра надъ поверхностью почвы. Рубенсонъ даетъ разность между температурой и абсолютной влажностью на высотѣ 12.2 сантиметра и на поверхности почвы:

	нѣтъ росы	начало росы	сильн. роса
температура . .	2°.4	3.4	3.9
абсолютн. влажн. .	—0.4 мм.	0.1	0.8
относит. влажн. .	12%	—18	—16

Иней. Если точка росы выдѣляющихся паровъ ниже нуля, то образуется *иней*. Микроскопическое изслѣдованіе нитей инея [1]) показало, что онѣ имѣютъ не кристаллическое строеніе, а какъ бы спаяны изъ мелкихъ ледяныхъ капель.

Количество росы и ея распредѣленіе. Количественное измѣреніе росы, образовавшейся при естественныхъ условіяхъ на травѣ, довольно затруднительно, такъ какъ для этого приходится вырѣзывать куски почвы съ дерномъ, что влечетъ за собою измѣненіе естественныхъ условій, въ которыхъ она находится; примѣняется при этомъ вѣсовой способъ. Керберъ примѣнилъ для измѣренія ареометръ: чашечка его покрывается сукномъ, и по погруженію ареометра до опыта и послѣ него судятъ о количествѣ образовавшейся росы. Вообще, въ видѣ росы осаждается незначительное количество паровъ. Въ Финляндіи, по измѣреніямъ Homén'a, обильная роса даетъ слой воды не больше 0.1 — 0.2 мм. Dines въ Англіи нашелъ 0.1 — 0.3 мм. Въ теченіе ночи въ Туринѣ выпадаетъ, среднимъ числомъ, 0.13 мм.

[1]) Assmann. Mikroskopische Beobachtungen der Struktur des Reifs. Meteorologische Zeitschrift. 1889, S. 339.

Digitized by Google

росы. Въ Montpellier, годовое количество росы составляетъ 8 мм., въ Мюнхенѣ—30 мм., а въ Англіи—26 мм. Въ тропическомъ поясѣ количество росы можетъ быть въ 10—20 разъ больше.

Въ магнито-метеорологической обсерваторіи Императорскаго Новороссійскаго университета произведены были штатнымъ наблюдателемъ А. Г. Позняковымъ количественныя измѣренія и химическіе анализы выпадающихъ въ Одессѣ какъ верхнихъ (дождь), такъ и нижнихъ (роса, иней, изморозь, туманъ) осадковъ съ 1 апрѣля по 31 декабря 1903 года. Для собиранія осадковъ, установлены были, на открытомъ мѣстѣ, вдали отъ построекъ, пять большихъ сосудовъ (діаметръ около 54 сант.) изъ толстаго стекла синяго цвѣта, воронкообразной формы. Каждый сосудъ поставленъ на широкогорлую банку. Отверстіе, имѣющееся въ каждомъ сосудѣ, плотно закрыто стеклянной ватой. Общая воспринимающая поверхность всѣхъ пяти сосудовъ равна 1.13 квадратн. метра. Въ теченіе указаннаго періода, число дней съ росою и инеемъ было слѣдующее:

	роса	иней		роса	иней
въ апрѣлѣ . .	2	—	въ сентябрѣ .	2	—
» маѣ . . .	7	—	» октябрѣ . .	5	2
» іюнѣ . . .	6	—	» ноябрѣ . .	5	1
» іюлѣ . . .	2	—	» декабрѣ . .	2	—
» августѣ . .	2	—	всего	33	3

Въ слѣдующей таблицѣ дано количество воды, выпавшей въ видѣ росы и инея (въ кубическихъ сантиметрахъ):

	общее количество	среднее на каждую росу
апрѣль . . .	280	140
май	554	79
іюнь	1051	175
іюль	410	205
августъ . . .	287	143
сентябрь . . .	277	138
октябрь . . .	1643	183
ноябрь . . .	958	192
декабрь . . .	725	362
всего	6185	183

Digitized by Google

Общее количество воды, выпавшей въ видѣ росы, тумана, инея и измороси, за разсматриваемый періодъ, выразилось слоемъ толщиною въ 8.4 мм., что составляетъ около $\frac{1}{33}$ части *всего* количества осадковъ (274.9 мм.), измѣренныхъ за тотъ же періодъ времени. Наибольшее количество воды, выпавшее въ формѣ росы и тумана въ *одинъ разъ*, равно 0.5 мм.

Интересна зависимость между образованіемъ росы и направленіемъ и скоростью вѣтра. Большинство росы и инея (21 изъ 36) сопровождалось, при своемъ образованіи, вѣтромъ отъ S, SSW и SW, т. е. теченіями съ моря. Если всѣ случаи выпаденія росы распредѣлить по скоростямъ вѣтра, то получается слѣдующій результатъ:

скорость вѣтра въ метрахъ въ секунду	число случаевъ	среднее количество росы въ куб. сантим.
1	1	56
2	2	101
3	5	119
4	10	128
5	8	251
6	4	217
7	1	44
8	1	60
10	2	136

Такимъ образомъ, наибольшее число разъ роса собрана при скорости вѣтра, въ моментъ ея образованія, въ 4—5 метр. въ секунду; наиболѣе обильныя росы наблюдались при 5—6 метрахъ. Средняя скорость вѣтра при выпаденіи росы равна 5.0 метр.

Не менѣе интересны результаты, полученные А. Г. Позняковымъ относительно химическаго состава нижнихъ осадковъ. Эти результаты будутъ изложены нѣсколько ниже въ связи съ вопросомъ о химическомъ составѣ осадковъ вообще.

Относительно географическаго распредѣленія росы и инея имѣется очень мало данныхъ. Для характеристики этой стороны вопроса, необходимо опредѣлить число дней съ росою и инеемъ, а также, годовое ихъ количество. Въ Одессѣ, число дней съ ро-

Digitized by Google

сою и инеемъ распредѣляется, на основаніи наблюденій метеорологической обсерваторіи на Маломъ Фонтанѣ, слѣдующимъ образомъ:

	роса	иней	изморозь	гололедица
январь . . .	0.6	6.7	2.8	0.9
февраль . . .	0.4	4.2	0.7	1.2
мартъ	3.2	5.0	0.2	0.4
апрѣль . . .	6.2	1.2	—	—
май	6.7	0.1	—	—
іюнь	4.2	—	—	—
іюль	3.8	—	—	—
августъ . . .	2.7	—	—	—
сентябрь . . .	5.1	—	—	—
октябрь . . .	8.4	1.1	0.1	—
ноябрь . . .	2.4	5.3	0.5	—
декабрь . . .	0.4	4.5	2.1	1.8
годъ	44.1	28.1	6.4	4.3.

Изморозь. Поверхность земли можетъ быть охлаждена, значительными и продолжительными, предшествовавшими холодами. Если, вслѣдъ за этимъ, подуетъ теплый, насыщенный влагой, воздухъ, то поверхность различныхъ предметовъ покрывается *изморозью* (если образовавшійся осадокъ имѣетъ кристаллическое строеніе) или *гололедицей* (если осадившаяся вода образуетъ непрерывную гладкую поверхность). На деревьяхъ, изморозь образуетъ длинныя, легко осыпающіяся, нити. Нити изморози легко получить искусственно на внѣшней поверхности металлическаго сосуда, охлажденнаго изнутри охладительной смѣсью.

Assmann нашелъ, что если температура поверхности очень низка (-15^0), то охлаждающаяся вода сублимируется, т. е. переходитъ непосредственно изъ газообразнаго въ твердое состояніе; въ этомъ случаѣ, она принимаетъ кристаллическую форму. Соотвѣтственно своему образованію, изморозь осаждается, главнымъ образомъ, съ подвѣтренной стороны.

Основная причина образованія изморози та же, что росы и инея, т. е. сгущеніе паровъ, вызванное прикосновеніемъ къ сильно охлажденной поверхности. Но между этими двумя категоріями явленій существуетъ огромная разница. Осажденіе

Digitized by Google

росы и инея вызывается охлажденіемъ вслѣдствіе ночного лученспусканія. Осажденіе изморози обусловливается охлажденіемъ, вызваннымъ предшествующими холодами. Вслѣдствіе этого, роса и иней бываютъ только въ ночные часы при ясномъ небѣ; изморозь возможна во всѣ часы сутокъ и при облачномъ небѣ. Роса и иней осаждаются преимущественно на непроводникахъ, между тѣмъ, изморозь можетъ образовываться на деревьяхъ, стѣнахъ, столбахъ, металлическихъ частяхъ и т. д. Нарастанію изморози, подобно тому, какъ и нарастанію инея, способствуетъ указанное выше свойство «ледяныхъ» паровъ сгущаться на поверхности льда при болѣе низкихъ упругостяхъ насыщенія. Роса и иней возможны во всѣхъ климатахъ; изморозь есть принадлежность болѣе холодной зоны и зимней части года.

Гололедица; ледяной дождь. Мы уже замѣтили, что находящіеся въ атмосферѣ водяные пары могутъ осаждаться на охлажденныхъ предметахъ въ формѣ *гололедицы*, покрывающей, иногда, наши мостовыя, столбы, деревья, телеграфныя проволоки сплошнымъ гладкимъ слоемъ льда. Образованіе гололедицы можетъ быть вызвано или движеніемъ болѣе теплаго, насыщеннаго парами, воздуха вдоль поверхности, сильно охлажденной предшествовавшими холодами, или вторженіемъ тока воздуха, содержащаго элементы воды въ переохлажденномъ состояніи. Если переохлажденныя частицы приходятъ въ соприкосновеніе съ твердымъ тѣломъ, то онѣ тотчасъ же сами отвердѣваютъ. Иногда выпаденіе этой влаги такъ обильно, что, подъ тяжестью осѣвшаго льда, разрываются телеграфныя проволоки, ломаются толстыя сучья деревьевъ. Говорятъ, въ этомъ случаѣ, о выпаденіи *ледянаго дождя*. Такой ледяной дождь произвелъ огромныя опустошенія въ садахъ Франціи 22 — 24 января 1879 года. На почвѣ образовался слой льда въ 2 — 3 сантиметра толщины. Телеграфныя проволоки, толщиною въ 4 мм., увеличились въ діаметрѣ до 38 мм. Въ Одессѣ, во время гололедицы въ февралѣ 1897 года, ледяная кора была такъ велика, что тонкій стебель дикой травы вѣсилъ со льдомъ 78.6 золотника; послѣ же оттаянія льда вѣсъ его уменьшился до 3 золотниковъ. На проволокѣ, на протяженіи 60 сантим., образовался слой льда въ 3 сант. толщины.

На фигурѣ 160 изображены обледѣнѣвшія нити растеній послѣ ледянаго дождя, выпавшаго 22—24 января 1879 года въ

Digitized by Google

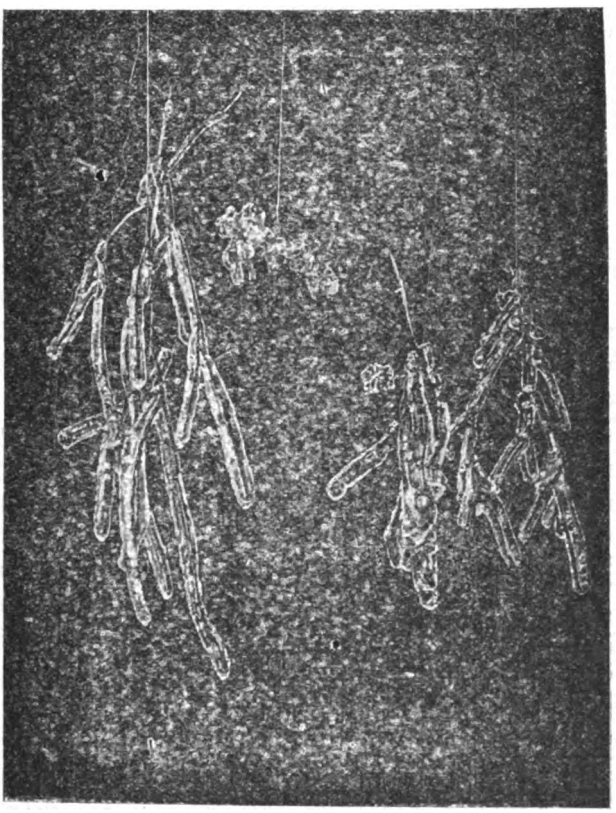
Фиг. 160.

Digitized by Google

Фонтенебло, а фиг. 161 даетъ понятіе о количествѣ льда, отложившагося на стебляхъ травы въ Одессѣ въ февралѣ 1897 года.

Гололедица можетъ образоваться и въ томъ случаѣ, когда обыкновенный дождь падаетъ на сильно охлажденную почву.

Гололедицы болѣе часты и опасны въ сравнительно низкихъ широтахъ умѣреннаго пояса, гдѣ, по временамъ, бываютъ



Фиг. 161.

суровые холода и въ то же время быстрыя смѣны температуры (напримѣръ, на западѣ сѣверной Америки и у насъ въ южной полосѣ Россіи); повторяемость ихъ особенно велика въ тѣхъ мѣстностяхъ, въ которыхъ зимнія изотермы густо лежатъ другъ къ другу (великъ термометрическій градіентъ). Огромное количество твердой воды отлагается также на вершинахъ горъ, до-

Digitized by Google

стигающихъ высоты 1000—1500 метровъ, т. е. въ томъ ярусѣ атмосферы, въ которомъ зимою имѣетъ мѣсто наиболѣе значительная относительная влажность. Такія огромныя отложенія, покрывающія всѣ павильоны, столбы, инструменты, наблюдаются метеорологическими станціями на Brocken'ѣ (1141 м.), Ben-Nevis (1343) м.), гораздо меньше на Obir (2140 м.) и еще слабѣе на Säntis 2500 м.) и Sonnblick'ѣ (3100 м.). Послѣднія станціи выдвинуты, изъ яруса образованія зимнихъ облаковъ, въ болѣе бѣдные парами слои атмосферы. На Ben-Nevis, однажды, при плотномъ туманѣ и сильномъ вѣтрѣ, отложился, въ теченіе часа, слой льда въ 32 мм. толщиною.

Къ этой же категоріи гидрометеоровъ, по способу ихъ образованія, слѣдуетъ отнести *туманы* надъ полярными морями, холодными теченіями и льдами, при господствѣ теплыхъ и влажныхъ воздушныхъ теченій. Подобное же происхожденіе имѣютъ лѣтніе туманы надъ береговой полосой Чернаго моря, при рѣзкихъ пониженіяхъ температуры воды. Эти послѣдніе туманы обладаютъ вообще небольшой мощностью, не превышающей 10—20 метровъ.

Туманы. Переходъ паровъ въ жидкое состояніе возможенъ и въ томъ случаѣ, когда процессъ испаренія съ поверхности воды или почвы происходитъ въ пространство, имѣющую болѣе низкую температуру. Въ этомъ случаѣ, пары, поднимающіеся съ испаряющейся поверхности, имѣютъ бо́льшую упругость, чѣмъ та, которая нужна для насыщенія среды. Вслѣдствіе этого, излишекъ паровъ переходитъ въ жидкое состояніе. Благодаря диффузіи и воздушнымъ теченіямъ, эти пары могутъ проникать вверхъ до нѣкоторой высоты и образовывать слой *тумана*. Подобнымъ путемъ образуются туманы надъ рѣками и болотами послѣ заката солнца въ лѣтніе дни, а также надъ теплыми теченіями, при господствѣ холоднаго вѣтра. Если море имѣетъ болѣе высокую температуру, чѣмъ воздухъ (напримѣръ, при быстромъ наступленіи морозовъ) и, при этомъ, дуетъ вѣтеръ, то надъ тѣми мѣстами, гдѣ происходятъ удары вѣтра о морскую поверхность и гдѣ, слѣдовательно, испареніе происходитъ интенсивнѣе, выдѣляющіеся пары тотчасъ же сгущаются; со стороны получается впечатлѣніе, какъ будто море вскипаетъ. Хотя лучеиспускательная способность воздуха весьма невелика, тѣмъ не менѣе, если температура извѣстнаго слоя его значительно выше

Digitized by Google

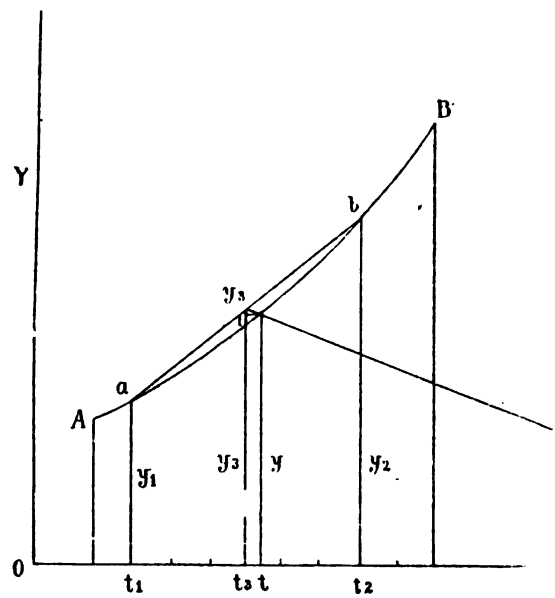
температуры земной поверхности, то можетъ наступить охлажденіе этого слоя путемъ потери тепла къ почвѣ. Подобныя условія (обращеніе температуры съ высотою) имѣютъ мѣсто, какъ мы видѣли, въ зимніе мѣсяцы, во время господства антициклоновъ и въ ночные часы. Если, при этомъ, разсматриваемый слой воздуха обладаетъ достаточной влажностью, то возможно образованіе, мало плотныхъ, облакообразныхъ, массъ; эти облака являются нерѣдко спутниками нѣкоторыхъ областей высокихъ давленій. Процессомъ такого охлажденія могутъ быть въ зимніе мѣсяцы охвачены и болѣе низкіе слои атмосферы, вплоть до земной поверхности, и тогда область высокаго давленія окутана неплотнымъ туманомъ. Охлажденіе, въ этомъ случаѣ, вызвано какъ лучеиспусканіемъ, такъ и непосредственнымъ прикосновеніемъ къ сильно охлажденной земной поверхности. Этимъ же путемъ образуется иногда пелена облаковъ въ ясныя зимнія ночи при затишьи или слабомъ вѣтрѣ.

Смѣшеніе двухъ массъ воздуха, насыщенныхъ парами и имѣющихъ различныя температуры. Вторженіе болѣе теплой насыщенной массы въ болѣе холодную среду или, общнѣе, *смѣшеніе* двухъ насыщенныхъ массъ воздуха, имѣющихъ различныя температуры, можетъ также обусловить переходъ части паровъ въ жидкое состояніе. Для нагляднаго поясненія этого случая, обратимся къ частному примѣру.

Смѣшивается килограммъ воздуха, насыщеннаго парами, при $t_1 = 0^0$ съ килограммомъ насыщеннаго воздуха при температурѣ $t_2 = 30^0$. Опредѣлимъ окончательное термометрическое и гигрометрическое состояніе смѣси. Вѣса паровъ, необходимыхъ для насыщенія воздуха при температурахъ 0^0 и 30^0, соотвѣтственно равны 4.8 и 30.0 грамма. Окончательная температура смѣси равна $(0^0 + 30^0) : 2 = 15^0$. На каждый килограммъ смѣси прійдется паровъ $(4.8 + 30.0) : 2 = 17.4$ грамма. Но для насыщенія килограмма воздуха при $t = 15^0$, необходимо лишь 12.7 грамма; очевидно, слѣдовательно, что часть паровъ, $17.4 - 12.7 = 4.7$ грамма, перейдетъ въ жидкое состояніе. Но тутъ необходимо ввести нѣкоторую поправку. При сгущеніи избытка паровъ въ жидкое состояніе, выдѣлится скрытое тепло. Это тепло пойдетъ на нагрѣваніе смѣси; вслѣдствіе этого, окончательная температура смѣси будетъ нѣсколько выше 15^0, а выдѣлившееся количество паровъ окажется нѣсколько меньше 4.7 грамма. Берлинскій

Digitized by Google

профессоръ Бецольдъ далъ весьма изящный графическій пріемъ для точнаго рѣшенія задачи о смѣшеніи двухъ массъ насыщеннаго воздуха, имѣющихъ различныя температуры. Возьмемъ двѣ, взаимно перпендикулярныя, оси координатъ; на одной изъ нихъ будемъ откладывать равныя части, выражающія температуры, а на соотвѣтствующихъ ординатахъ вѣсовыя количества паровъ, необходимыхъ для насыщенія килограмма воздуха при различныхъ температурахъ. Если соединимъ оконечности перпендикуляровъ непрерывной кривой, то эта кривая выразитъ законъ измѣненія количества паровъ, насыщающихъ килограммъ воздуха, съ измѣненіемъ температуры. Кривая обращена выпуклостью къ оси абсциссъ и имѣетъ видъ, представленный на фиг. 162. Проведемъ y_1 и y_2, соотвѣтствующія температурамъ



Фиг. 162.

t_1 и t_2 и точки a и b соединимъ прямой ab. Эту прямую раздѣлимъ пополамъ и изъ точки дѣленія опустимъ перпендикуляръ y_3 на ось абсциссъ. Изъ чертежа видно, что $y_3=(y_1+y_2):2$ и $t_3=(t_1+t_2):2$, т. е., на основаніи предыдущаго, t_3 представитъ окончательную температуру, а y_3—окончательное гигрометри-

Digitized by Google

ческое состояніе смѣси. Но мы сказали, что, вслѣдствіе выдѣлившагося скрытаго тепла, окончательная температура будетъ нѣсколько выше; положимъ, что она равна $Ot=t^0$. Соотвѣтствующее этой температурѣ, какъ видно изъ чертежа, содержаніе паровъ будетъ y; разность же $y_3-y=y_3 i$ выразитъ количество паровъ, которое должно перейти въ жидкое состояніе изъ килограмма смѣси. Положимъ, что прямая, соединяющая точку y_3 съ оконечностью ординаты y и продолженная, составляетъ уголъ α съ осью абсциссъ OX. Опредѣлимъ этотъ уголъ. Обозначимъ теплоемкость воздуха, въ малыхъ калоріяхъ, буквой c, а скрытое тепло испаренія знакомъ r. При сгущеніи количества паровъ, равныхъ по вѣсу (y_3-y), выдѣлится тепла $(y_3-y)r$; для нагрѣванія килограмма воздуха отъ t_3 до t понадобится тепла $1000(t-t_3)c$; но тепло, выдѣлившееся при сгущеніи, пойдетъ на нагрѣваніе воздуха, слѣдовательно,

$$(y_3-y)r=1000(t-t_3)c. \qquad (1)$$

Изъ чертежа видно, что

$$y_3-y=a\,Sin\alpha \qquad (2)$$

и

$$t-t_3=a\,Cos\alpha, \qquad (3)$$

гдѣ a—отрѣзокъ, заключенный между оконечностями перпендикуляровъ y_3 и y. Вставляя эти выраженія въ уравненіе (1),

$$ar\,Sin\alpha=1000ac\,Cos\alpha$$

или

$$tang\alpha=\frac{1000c}{r}.$$

Такъ какъ, приблизительно, $c=0.24$, а r (въ круглыхъ числахъ) $=600$, то

$$\alpha=21^0. \qquad (4)$$

Изъ уравненія (4) вытекаетъ слѣдующій графическій пріемъ для рѣшенія интересующей насъ задачи. Нужно провести ординаты y_1 и y_2, соотвѣтствующія температурамъ смѣшивающихся массъ воздуха, и точки a и b соединить прямой линіей. Изъ середины прямой ab начертить ординату y_3 и построить прямую, наклоненную къ оси абсциссъ подъ угломъ 21°. Перпендикуляръ y, опущенный изъ точки пересѣченія этой прямой съ кривою

Digitized by Google

AB, опредѣлитъ окончательную температуру $0t$ смѣси, а отрѣзокъ $y_3 i$ выразитъ вѣсовое количество паровъ, которое перейдетъ въ жидкое состояніе. Путемъ смѣшенія двухъ насыщенныхъ, или близкихъ къ насыщенію, массъ воздуха могутъ образоваться туманы, нѣкоторые виды облаковъ и даже дождь. Нетрудно показать, впрочемъ, что количество паровъ, осаждающихся этимъ путемъ, вообще, невелико. Если сдѣлать крайнее допущеніе, что смѣшивающіяся массы воздуха имѣютъ температуры 0^0 и 25^0, то въ вертикальномъ столбѣ воздуха, основаніе котораго равно 1 квадр. метру, а высота—1000 метрамъ, выдѣлится всего 1220 граммовъ, а это соотвѣтствуетъ слою дождя толщиною въ 1.2 мм. Если разность температуръ равна $25^0—10^0=15^0$, то слой осадковъ не превыситъ 0.5 мм., что можетъ дать туманъ, облако или весьма слабый дождь.

Адіабатическое расширеніе воздуха; восходящіе токи. Мы знаемъ, что если опредѣленный объемъ воздуха, безъ полученія и отдачи тепла (адіабатически), расширяется, то температура его понижается, пары приближаются къ состоянію насыщенія и, наконецъ, часть ихъ переходитъ въ жидкое состояніе. Такой процессъ возможенъ въ природѣ при быстрыхъ измѣненіяхъ давленія. Можно вычислить, что внезапное паденіе барометра на 20 мм. повлечетъ за собой уменьшеніе температуры не болѣе, какъ на 2^0. Между тѣмъ, быстрое паденіе барометра на 20 мм. крайне рѣдко, а, слѣдовательно, обыкновенныя колебанія барометра не могутъ вызвать замѣтныхъ процессовъ конденсаціи. Вслѣдствіе быстраго паденія давленія, конденсація возможна лишь внутри атмосферическихъ вихрей (смерчи, торнадосы), сопровождающихся образованіемъ какъ бы туманнаго столба по оси метеора и кажущимся опусканіемъ воронки сверху.

Сгущеніе паровъ, въ болѣе широкомъ масштабѣ, имѣетъ мѣсто при восходящемъ токѣ воздушныхъ массъ. Мы уже видѣли (стран. 156), что восходящіе токи образуются тогда, когда въ извѣстной части атмосферы нарушены условія, необходимыя для равновѣсія. Прослѣдимъ процессъ восходящаго теченія, воспользовавшись числовымъ примѣромъ, взятымъ изъ классической книги Hann'a.

Представимъ себѣ, что, вслѣдствіе какихъ-нибудь причинъ, восходитъ, отъ уровня моря, кубическій метръ воздуха, ненасыщеннаго парами. Пусть

Digitized by Google

760 мм.—первоначальн. давленіе,
30° — » температура,
15.75 мм.— » абсолютная влажность,
50% — » относительная влажность,
15.04 гр. — » вѣсовое количество паровъ въ кубическомъ метрѣ,
18°.4 —точка росы содержащихся паровъ.

Взятая нами масса воздуха будетъ подыматься, подчиняясь первоначально закону, изложенному на стран. 157, т. е. она будетъ охлаждаться на 1° на каждые 100 метровъ вертикальнаго поднятія; при этомъ поднятіи, пары будутъ приближаться къ состоянію насыщенія, а, слѣдовательно, относительная влажность станетъ возрастать. Наконецъ, на нѣкоторой высотѣ, когда температура понизится до 18°.4, пары достигнутъ точки росы. Это *первая стадія* поднятія, въ которой процессы сгущенія паровъ еще не происходятъ. Опредѣлимъ, на какой высотѣ окончится эта стадія. Первоначальная температура была 30°, а въ концѣ первой стадіи она равна 18°.4; слѣдовательно, паденіе температуры равно 11.°6, а это соотвѣтствуетъ поднятію нашей массы воздуха на 1160 метровъ. Но тутъ нужно ввести нѣкоторую поправку. Восходящій воздухъ первоначально находился подъ давленіемъ 760 мм., а въ концѣ *первой* стадіи давленіе понизится до 655 мм. Вслѣдствіе уменьшенія давленія, нашъ кубическій метръ воздуха расширится въ отношеніи 760 : 655 = 1.16, а поэтому, пары, заполнявшіе прежде 1 кубич. метръ, распредѣлятся теперь въ объемѣ 1.16 куб. метра и на долю каждаго метра прійдется паровъ 15.04 : 1.16 = 13.0. Точка росы этихъ паровъ равна 16°.1. Такимъ образомъ, *первая* стадія окончится тогда, когда температура понизится на 30°.0 — 16°.1 = 13°.9, т. е. на высотѣ 1390 или, въ круглыхъ числахъ, на высотѣ 1400 метровъ.

Поднятіе воздуха продолжается, продолжается и дальнѣйшее охлажденіе его; но законъ охлажденія уже иной, такъ какъ восходитъ воздухъ, насыщенный парами. *Второй* стадіей восхожденія мы будемъ называть поднятіе до того момента, когда температура восходящей массы воздуха понизится до 0° («стадія дождя»). Спрашивается, до какой высоты долженъ подняться нашъ воз-

Digitized by Google

духъ, чтобы температура его упала до 0°, т. е. на 16°.1. Обращаясь къ таблицамъ, находимъ, что, при имѣющихся давленіи и температурѣ, на каждые 100 м. поднятія, температура падаетъ на 0°.45; слѣдовательно, воздухъ долженъ подняться на (16.1×100) : 0.45=3580 м Такимъ образомъ, стадія дождя должна оканчиваться на высотѣ 4980 м Но и здѣсь нужно внести поправку. Мы нашли по таблицамъ, что на каждые 100 м. поднятія температура воздуха падаетъ на 0°.45; но это число получено для воздуха на высотѣ 1400 м. и при t=16°.1. Въ концѣ же второй стадіи, давленіе и температура иныя; по таблицамъ найдемъ, что паденіе температуры при новыхъ условіяхъ равно 0°.51 на 100 м. поднятія. Возьмемъ среднюю изъ этихъ величинъ, т. е. (0°.45+0°.51) : 2=0°.48; высота, на которую должна подняться масса воздуха для достиженія 0°, равна 16.1×100 : 0.48= 3355 м. Итакъ, конецъ *второй стадіи* будетъ находиться на высотѣ 4755, или, въ круглыхъ числахъ, 4.800 метровъ. Но при температурѣ 0°, количество паровъ, насыщающихъ пространство, равно 4.84 грамма; слѣдовательно, значительная часть паровъ перейдетъ въ жидкое состояніе.

Далѣе, начинается *третья* стадія восхожденія — стадія града. Въ этой стадіи продолжается дальнѣйшее охлажденіе, и, такъ какъ исходная температура этой стадіи равна 0°, то выдѣляющіеся пары будутъ осаждаться въ формѣ кристалловъ. Первоначально процессъ будетъ итти медленно, такъ какъ выдѣляющаяся скрытая теплота достаточна для компенсаціи охлажденія отъ дальнѣйшаго поднятія. Нѣкоторое время температура будетъ поддерживаться около 0°. Принимаютъ мощность *третьей стадіи* равной 200 м.

Остается послѣдняя *четвертая стадія*—стадія снѣга. Посмотримъ, насколько долженъ подняться воздухъ, чтобы отъ 0° онъ охладился до—25°? Возвращаясь къ нашимъ таблицамъ, найдемъ, что на высотѣ 5000 м. и при температурѣ 0° воздухъ охлаждается на 0°.52 на каждые 100 метровъ вертикальнаго поднятія. Но на верхней границѣ *четвертой* стадіи воздухъ очень сухъ, а потому, паденіе температуры близко къ адіабатическому и, приблизительно, равно 0°.90 на каждые 100 метровъ; среднее составитъ 0°.71. Искомое поднятіе достигнетъ 25×100 : 0.71=3500 метровъ, или, считая отъ поверхности земли, 8500 метровъ.

Digitized by Google

Соберемъ всѣ отдѣльные результаты въ одно цѣлое и представимъ ихъ въ формѣ общей таблицы:

b	h	t	c	g	e	T
760	0	30°.0	15.75	15.04	50%	18°.4
—	1400	16.1	13.6	13.5	100	16.1
420	4800	0.0	4.57	4.84	»	0.0
—	5000	»	—	—	»	0.0
230	8500	—25.0	0.50	0.58	»	—25.0.

Въ этой таблицѣ:

b—давленіе воздуха въ миллиметрахъ,
h—высота въ метрахъ,
t—температуръ,
c—абсолютная влажность въ миллиметрахъ,
g—вѣсовое количество паровъ (граммы въ 1 кубич. метрѣ),
e—относительная влажность въ процентахъ,
T—точка росы.

Опредѣлимъ, какой слой осадковъ выпадетъ вслѣдствіе сгущенія паровъ во второй стадіи? Къ концу второй стадіи, взятый нами объемъ воздуха расширился въ отношеніи 760 : 420=1.81. Для насыщенія его нужно $4.84 \times 1.81 = 8.76$ грамма. Но первоначальное содержаніе паровъ равнялось 15.04 грамма; слѣд., разность $15.04 - 8.76 = 6.28$ перешла въ жидкое состояніе и выдѣлилась въ формѣ дождя. Мощность второй стадіи, по вертикальному направленію, составляетъ 3400 метровъ; слѣдовательно, изъ всего этого столба выдѣлится $3400 \times 6.28 = 21.35$ килограмма паровъ, что составитъ слой воды толщиною въ 11.7 мм. на каждый квадратный метръ. Если допустить, что скорость восходящаго тока равна 3 метрамъ въ секунду, то, по вычисленію Hann'a, *часовое* количество выпавшей воды достигнетъ 37 мм, что составляетъ уже настоящій ливень. Такимъ образомъ, главной причиной сильныхъ дождей слѣдуетъ считать восходящіе токи.

Волнистыя облака. Математическій анализъ давно въ области физическаго землевѣдѣнія имѣетъ обширное примѣненіе. Достаточно вспомнить теоретическія работы Ferrel'я, Oberbeck'a, Guldberg'a и Mohn'a, Helmholtz'a, относящіяся къ общей циркуляціи атмосферы, старыя работы Fourrier и Poisson'a о тепловомъ состояніи земной коры, изслѣдованія Томсона о вѣко-

Digitized by Google

вомъ охлажденіи земли, работы по термодинамикѣ атмосферы Бецольда, изслѣдованія Винера объ астрономическомъ климатѣ, общую теорію оптическихъ и магнитныхъ явленій въ атмосферѣ, аналитическія изслѣдованія приливовъ и отливовъ и т. д. Нѣкоторыя изъ этихъ изслѣдованій дали въ высшей степени изящныя теоретическія объясненія отдѣльныхъ явленій; таковы, напримѣръ, теорія радуги Airy или теорія морскихъ теченій Цеприца; другія — разъяснили явленія, казавшіяся загадочными, напримѣръ, термодинамическія уравненія, примѣненныя къ объясненію фёна, а также восходящихъ и нисходящихъ токовъ вообще. Нѣкоторыя теоретическія построенія ждутъ своего подтвержденія при посредствѣ наблюденій; таковы всѣ аналитическіе выводы, касающіеся циркуляціи атмосферы, а также слѣдствія изъ общей теоріи земного магнетизма.

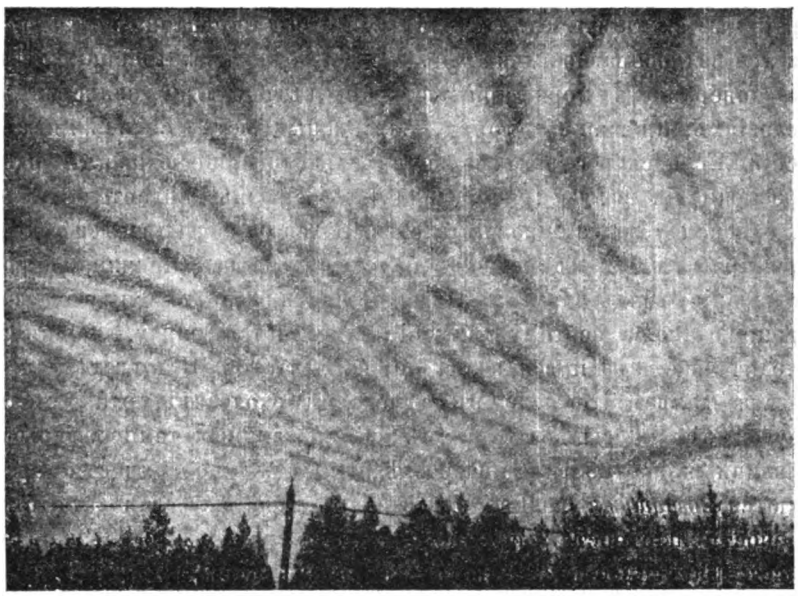
Но въ исторіи науки особенно важны тѣ случаи, въ которыхъ, при помощи анализа, мы проникаемъ вдаль и теоретически открываемъ и предсказываемъ неизвѣстныя до того времени явленія. Это моменты величайшаго торжества человѣческой мысли. Такимъ именно торжествомъ считается теоретическое открытіе астрономомъ Леверье планеты Нептуна. Такой же характеръ имѣетъ открытіе конической рефракціи. Исторія землевѣдѣнія тоже можетъ гордиться подобными же завоеваніями. Я не говорю здѣсь о тѣхъ предсказаніяхъ бурь, осадковъ и вообще состоянія погоды, которыя ежедневно разсылаются центральнымъ метеорологическимъ учрежденіемъ. Это не предсказанія, а лишь предостереженія о существующей и надвигающейся опасности. Нѣтъ, рѣчь идетъ о настоящемъ открытіи, путемъ анализа, явленія, которое оставалось совершенно неизвѣстнымъ, но реальность котораго была, съ теченіемъ времени, неопровержимо доказана. Это Гельмгольцевскія волны въ атмосферѣ [1]).

На фиг. 163-ьей представлены волнистыя облака съ одной системой, а на 164-ой съ двумя системами пересѣкающихся волнъ.

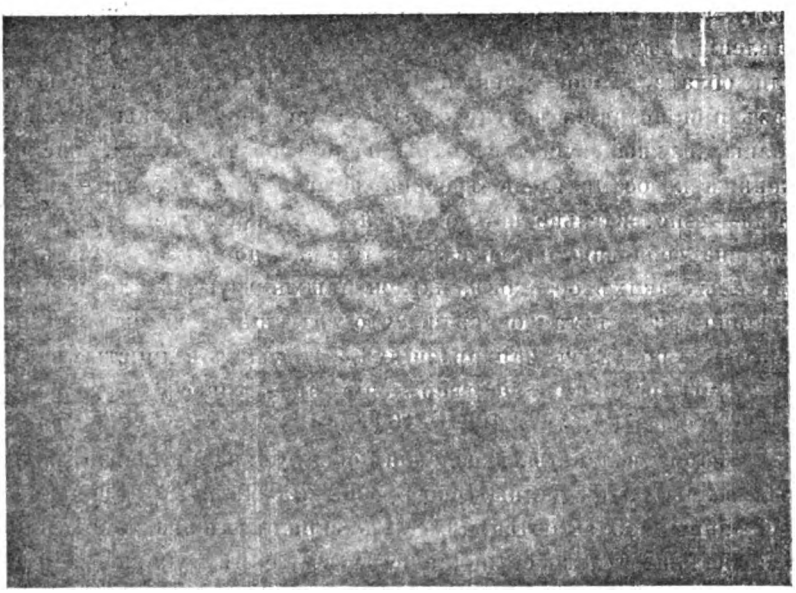
---

[1]) Общедоступное изложеніе образованія волнъ Гельмгольца см. a) статью Kassner'a въ журналѣ «Das Wetter» 1894, S. 237; b) журналъ «Himmel und Erde». 1897, Heft 10; c) Helmholtz «Zur Theorie von Wind und Wellen» въ журналѣ «Verhandlungen der Physik. Gesell. zu Berlin i. Jahre 1889. S. 61. Строгія аналитическія работы Гельмгольца по этому вопросу указаны въ концѣ этой главы (см. «Литературныя указанія»).

Digitized by Google



Фиг. 163.



Фиг. 164.

Digitized by Google

Если двѣ массы жидкости, имѣющія рѣзко очерченныя границы, скользятъ одна вдоль другой, то на границѣ ихъ является волнообразное движеніе. Это мы можемъ ежедневно видѣть на поверхности моря при движеніи вѣтра. При извѣстныхъ условіяхъ, правильная форма волнъ испытываетъ сильныя измѣненія. Если скорость вѣтра значительно больше скорости распространенія волнъ, то передняя часть волны дѣлается круче и, наконецъ, волна опрокидывается. Волна опрокидывается также при приближеніи къ мелкому берегу, но здѣсь причина опрокидыванія волны другая. Нижняя часть волны испытываетъ треніе о дно, а поэтому движеніе замедляется внизу, вершина уходитъ впередъ и вся волна опрокидывается. Гельмгольцъ показалъ далѣе, что если въ атмосферѣ скользятъ, одна вдоль другой, двѣ массы воздуха, имѣющія различныя температуры и различныя плотности, то на раздѣляющей ихъ поверхности образуются *воздушныя* волны. Высота и длина ихъ зависятъ отъ разности плотностей и относительной скорости скользящихъ массъ. Зависимость эта выражена рядомъ формулъ.

Но вѣдь Гельмгольцевскія волны невидимы. Гдѣ же доказательства ихъ реальности? Если допустимъ, что нижній слой воздуха насыщенъ парами, то всякая причина, уменьшающая давленіе, вызоветъ быстрое сгущеніе паровъ въ формѣ тумана или облака. Такое уменьшеніе давленія имѣетъ мѣсто всякій разъ при поднятіи частицъ воздуха на гору волны. На горѣ волны должны сгущаться пары и образовать облака, расположенныя полосами вдоль гребней волнъ. Такія облака — волнистыя—дѣйствительно наблюдаются и, въ послѣднее время, обратили на себя вниманіе изслѣдователей. Иногда замѣчаютъ двѣ системы такихъ облаковъ, наклоненныхъ другъ къ другу подъ различными углами; очевидно, что воздушныя массы получили импульсъ по двумъ направленіямъ. Итакъ, въ волнистыхъ облакахъ мы находимъ подтвержденіе аналитическихъ выводовъ Гельмгольца (см. фиг. 163 и 164).

Форма волнистыхъ облаковъ обнаруживаетъ только воздушныя волны малой длины (около 300—700 метровъ). Волны средней длины наблюдаются рѣже. Въ вершинахъ этихъ волнъ происходитъ не только сгущеніе пара въ формѣ тумана, но и выдѣленіе осадковъ въ формѣ дождя, что значительно затемняетъ общій ходъ явленія и затрудняетъ наблюденіе.

Digitized by Google

Большія волны (15—20 килом.) выступаютъ опять рѣзко. Какъ волнистыя облака онѣ уже болѣе не видны, ибо промежутки между гребнями слишкомъ велики и занимаютъ почти весь видимый небосклонъ Но длинныя волны должны имѣть, по Гельмгольцу, значительную высоту (тысячи метровъ); въ нижней своей части, онѣ испытываютъ болѣе сопротивленія для своего движенія, вслѣдствіе большей близости къ земной поверхности; поэтому, онѣ опрокидываются и вызываютъ то состояніе неба, которое характеризуется періодической смѣной ясной и пасмурной погоды, сопровождающейся штормомъ и густыми облаками, изъ которыхъ идетъ дождь или градъ съ грозой. Это явленіе аналогично прибою: ударъ вѣтра и дождя соотвѣтствуетъ опрокидывающемуся гребню; долина совпадаетъ съ спокойной паузой, безъ сгущенія паровъ и безъ облаковъ.

Но, до сихъ поръ, мы представили лишь косвенныя доказательства справедливости теоріи Гельмгольца. 12 января 1894 г., во время поднятія шара изъ Мюнхена [1]), температура внизу была $-8^{0}5$; шаръ поднялся до высоты 100 м. и началъ то подниматься, то опускаться въ предѣлахъ 30—60 метровъ; когда выбросили баластъ, шаръ быстро поднялся до высоты 280 метровъ, гдѣ встрѣтилъ температуру $+5^{0}.5$. Очевидно, что эти колебанія шара были вызваны соотвѣтствующими волнами, образовавшимися на границѣ двухъ слоевъ; разность температуръ этихъ слоевъ достигала 14^{0}. Еще интереснѣе поднятіе Emden'a изъ Брюсселя 7 ноября 1896 года [2]). Воздухъ внизу былъ совершенно спокоенъ. Но на высотѣ 200 м. вдругъ обнаружилось сильное теченіе отъ запада къ востоку. Вѣроятная скорость его равнялась 12.5 м. въ сек. Термометръ повысился отъ $2^{0}.7$ до $9^{0}.2$. Поднявшись выше, наблюдатели замѣтили, что горизонтъ былъ покрытъ рядомъ цилиндрообразныхъ облачныхъ массъ, раздѣленныхъ между собою болѣе свѣтлыми промежутками; оси цилиндровъ отстояли другъ отъ друга на разстояніи, среднимъ числомъ, около 540 метровъ и имѣли направленіе отъ сѣвера къ югу. Очевидно, что это были облачныя массы, расположившіяся по гребнямъ теоретическихъ волнъ Гельмгольца. Замѣчательно, что разстояніе между цилиндрами соотвѣтство-

[1]) Ann. de la société météorologique de France. 1897, p. 298.

[2]) Ibid., 1898, p. 27.

Digitized by Google

вало тому, которое слѣдовало изъ формулъ Гельмгольца. И дѣйствительно, если разность температуръ скользящихъ массъ воздуха равна 10°, а разность скоростей равна 10 метрамъ, то длина волны должна быть около 550 метровъ. Такимъ образомъ, природа дала возможность непосредственно наблюдать реальные образы теоретическихъ предвидѣній Гельмгольца. Въ послѣднее время отмѣчены и другія явленія, подтверждающія теорію Гельмгольца.

Scheiner изъ Potsdam'a идетъ далѣе и усматриваетъ такія же волны, но, конечно, колоссальныхъ размѣровъ, на солнцѣ, на границѣ между фотосферой и хромосферой. Этими волнами, имѣющими различное направленіе, онъ объясняетъ загадочное до сихъ поръ явленіе грануляціи фотосферы.

Волны Гельмгольца имѣютъ гораздо большую высоту и длину въ сравненіи съ волнами на поверхности воды. Длина волны обратно пропорціональна разности плотностей и прямо пропорціональна квадрату относительной скорости скользящихъ массъ воздуха. Wien нашелъ другую формулу для длины подобной волны:

$$l = 2\pi \frac{v^2}{g} \cdot \frac{dd_1}{d^2 - d_1^2},$$

гдѣ g — ускореніе силы тяжести,

d и d_1 — плотности двухъ скользящихъ массъ,

v — относительная скорость скольженія.

Резюмируя все выше изложенное, приходимъ къ тому заключенію, что нижніе осадки (роса, иней, изморозь) образуются вслѣдствіе охлажденія земной поверхности; верхніе осадки (дождь, крупа, градъ, снѣгъ, облака) являются результатомъ смѣшенія или адіабатическаго расширенія; туманы и гололедицы могутъ быть вызваны какъ первой, такъ и второй изъ указанныхъ причинъ.

Водяные пары, при своемъ охлажденіи, осаждаются въ жидкомъ или въ твердомъ состояніи. Въ жидкомъ видѣ они образуютъ росу, дождь, туманъ и нѣкоторыя облака; въ твердомъ — другія формы гидрометеоровъ. Переходъ въ твердое состояніе совершается или простымъ замерзаніемъ (въ видѣ аморфныхъ массъ) образовавшихся первоначально жидкихъ частицъ (гололедица, нѣкоторыя формы инея), или кристаллизаціей ихъ на

Digitized by Google

сильно охлажденной поверхности (кристаллическія образованія на градинахъ, нарастанія нитей изморози). Существуетъ, наконецъ, еще одна форма конденсаціи пара при очень низкихъ температурахъ: вода переходитъ прямо изъ газообразнаго въ твердое состояніе. Это, своего рода, *сублимація* воды. Assmann микроскопически изслѣдовалъ такой сублимированный ледъ въ атмосферѣ 15 января 1889 года при температурѣ—17°.8. Такая тончайшая сублимація отличается, при солнечномъ свѣтѣ, интенсивнымъ блескомъ; полярными путешественниками она отмѣчается какъ «алмазная пыль». Аэростатическія поднятія обнаружили, что мельчайшіе элементы снѣга получаются путемъ сублимаціи, а не путемъ замерзанія капель.

Структура эмбріональныхъ элементовъ тумана. Макро- и микро-структура первичныхъ продуктовъ сгущенія паровъ представляютъ огромный, чисто физическій, интересъ. Относительно жидкихъ элементовъ тумана очень упорно держалась гипотеза пузырчатаго строенія, давно введенная въ науку Галлеемъ и Лейбницемъ. Кратценштейнъ опредѣлилъ даже микроскопически діаметръ этихъ пузырьковъ (0.001 мм.). Предполагали, что вода, при своемъ сгущеніи, должна первоначально пройти стадію пузырчатаго строенія. Эта гипотеза была введена для того, чтобы объяснить удовлетворительно цѣлый рядъ явленій: 1) плаваніе въ атмосферѣ элементовъ тумана, 2) рѣзкія очертанія солнца, луны и другихъ источниковъ свѣта, разсматриваемыхъ сквозь слой тумана, 3) голубой цвѣтъ неба, 4) происхожденіе бѣлой радуги, нерѣдко наблюдаемой на фонѣ тумана.

Разсмотримъ каждое изъ этихъ явленій:

1) Stokes показалъ, что плаваніе есть только кажущееся; въ дѣйствительности же, мелкія капельки, образующія облако, падаютъ съ крайне незначительной скоростью. При своемъ паденіи, капля испытываетъ сопротивленіе

$$F = 6\pi m r V,$$

гдѣ m—коэффиціентъ внутренняго тренія,
r—радіусъ капли,
V—скорость ея паденія.

Съ другой стороны, вѣсъ капли

Digitized by Google

$$P=\frac{4}{3}\pi r^3 g(\sigma-\varrho),$$

гдѣ g—напряженіе силы тяжести,
σ—удѣльный вѣсъ воды,
ϱ— » » воздуха.

Если установилось равномѣрное движеніе, то

$$6\pi r m V=\frac{4}{3}\pi g r^3(\sigma-\varrho)$$

или, приблизительно,

$$V=\frac{2r^2 g}{9m}.$$

Въ первомъ приближеніи

$$g=10^3 cm.sec^{-2},\ m=20.10^{-5} cm^{-1} g^1 sec^{-1}$$

а, слѣдовательно,

$$V=10^6 r^2.$$

Если діаметръ капли равенъ $10^{-3} cm.$, то

$$V=1 cm.sec.$$

Такая капля будетъ плавать въ воздухѣ, если скорость восходящаго тока равна 1 сантиметру въ секунду. Эта же капля, падая со скоростью 1 сантиметра въ секунду, должна употребить $2^3/_4$ часа, чтобы пройти слой воздуха въ 100 метровъ толщиною. Замѣтимъ, что прилипаніе частицъ воздуха къ каплямъ еще болѣе увеличитъ сопротивленіе. Если радіусъ капель равенъ 0.01 сантиметра, то скорость паденія достигаетъ 1 метра въ секунду. Слой въ 1000 метровъ капля пройдетъ въ 15 минутъ. Если радіусъ капли превыситъ извѣстный предѣлъ, то сопротивленіе воздуха выразится формулой:

$$F=6\pi m r^2 V\ ^1).$$

---

[1]) Подробныя литературныя указанія по этому вопросу можно найти въ статьѣ Conrad'a «Bildung und Konstitution der Wolken». Meteorologische Zeitschrift. 1907, April, S. 159.

Digitized by Google

Скорость паденія, въ этомъ случаѣ, при увеличеніи радіуса капель, будетъ возрастать гораздо медленнѣе.

2) Рѣзкое очертаніе солнца и луны. Clausius пытался доказать, путемъ анализа, что солнце, луна и другіе источники свѣта, разсматриваемые сквозь слой тумана, состоящаго изъ мельчайшихъ *сплошныхъ* капель, теряютъ рѣзкость своихъ очертаній и кажутся расплывчатыми. Но прямые опыты Брюкка противорѣчатъ этому выводу. Если каплю раствора мастики въ спиртѣ бросить въ воду и сильно взболтать, то получится мутная жидкость, которая въ разсѣянномъ свѣтѣ окрашена въ лазуревый, а въ проходящемъ—въ красно-оранжевый цвѣтъ. Солнце, луна, пламя свѣчи, разсматриваемыя черезъ эту мутную среду, сохраняютъ совершенно рѣзкія очертанія.

3) Голубой цвѣтъ неба. Clausius, отвергнувъ сплошную форму элементовъ тумана, естественно склонился къ гипотезѣ пузырчатаго ихъ строенія для объясненія голубого цвѣта неба. Голубой цвѣтъ неба онъ разсматриваетъ какъ явленіе, аналогичное съ цвѣтами тонкихъ пластинокъ, что, неявно, предполагаетъ пластинчатое состояніе тумана. Въ случаѣ конденсаціи пара, пластинчатость эта можетъ явиться лишь въ томъ случаѣ, если элементы тумана примутъ форму пузырьковъ, полыхъ внутри, и имѣющихъ тонкія водяныя стѣнки; въ пленкахъ этихъ, при извѣстной ихъ толщинѣ, въ разсѣянномъ свѣтѣ, мы и должны получить ту лазурь, которой окрашенъ дневной свѣтъ небеснаго свода. Но изъ метеорологической оптики извѣстно, что новѣйшія теоріи голубого цвѣта неба, особенно теорія Ragley'a, вполнѣ объясняютъ голубой цвѣтъ неба, не вводя въ науку постулата о пузырчатомъ строеніи элементовъ тумана.

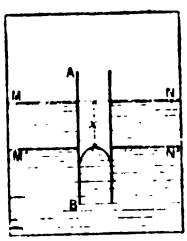
4) Бѣлая радуга на фонѣ тумана. Декартъ далъ *геометрическую* теорію радуги, разсматривая ходъ лучей въ каплѣ. На основаніи этой теоріи, радіусъ, которымъ описана дуга радуги и порядокъ цвѣтовъ, не зависятъ отъ величины капель. Англійскій ученый Airy далъ полную теорію радуги. По этой теоріи, какъ радіусъ радуги такъ и порядокъ цвѣтовъ, являются функціями діаметра элементовъ облака. Если радіусъ капель очень малъ, то получается бѣлая радуга и радіусъ ея значительно меньше декартовской. Такимъ образомъ, теорія бѣлой радуги не нуждается въ гипотезѣ пузырчатаго строенія элементовъ тумана.

Digitized by Google

Kiessling опровергаетъ также гипотезу пузырчатости непосредственными опытами [1]). Онъ показалъ, что, въ массѣ тумана, быстрое уменьшеніе давленія не вызываетъ замѣтнаго измѣненія суспендированныхъ тѣлецъ. Въ опытахъ Kiessling'a, давленіе уменьшалось быстро отъ одной атмосферы до 120 и 80 мм. Если бы элементы тумана состояли изъ пузырьковъ, то они должны были бы испытывать расширеніе, чего вовсе не наблюдалось.

Существуютъ, наконецъ, непосредственныя микроскопическія изслѣдованія элементовъ тумана, произведенныя Assmann'омъ на Брокенѣ, при температурѣ -10^0 и неподтверждающія пузырчатаго строенія. На стекло микроскопа падали маленькія капельки. Всѣ онѣ были жидкія и быстро испарялись. Не было ни одного кристалла, ни одной снѣжинки; ни одна капля не кристаллизовалась, не обратилась въ снѣжинку. Тѣ капли, которыя не испарялись въ теченіе 5—10 секундъ, отвердѣвали въ плотные, вполнѣ прозрачные, не содержащіе воздушнаго пузырька, ледяные шарики, безъ всякаго измѣненія своего вида.

Мало того, исходя изъ теоріи капиллярныхъ явленій, можно показать, что пузырчатое строеніе тумана *физически* невозможно. Представимъ себѣ (фиг. 165) сосудъ съ жидкостью и опустимъ въ нее несмачивающуюся трубку. Уровень жидкости въ трубкѣ будетъ стоять ниже уровня въ сосудѣ и имѣетъ выпуклую форму. Если назовемъ давленіе на поверхность жидкости въ сосудѣ черезъ p, то давленіе на нашъ менискъ будетъ $p+z$, гдѣ z — капиллярная депрессія, которая, какъ извѣстно, обратно пропорціональна радіусу (r) кривизны [2]). Выпуклый менискъ, слѣдовательно, находится подъ давленіемъ $p+z$, т. е. при переходѣ изъ среды въ жидкость давленіе скачкомъ возрастаетъ. Обратно, при переходѣ изъ среды въ жидкость черезъ вогнутый менискъ давленіе скачкомъ уменьшается на величину $z=\frac{0.151}{r}$. Примѣнимъ эту тео-



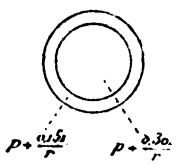
Фиг. 165.

[1]) Kiessling. Untersuchungen über Dämmerungserscheinungen. Hamburg, 1888.

[2]) Если жидкость смачиваетъ стѣнки трубки, то менискъ вогнутъ, уровень выше, чѣмъ въ сосудѣ, и давленіе меньше p.

Digitized by Google

рію къ нашему пузырчатому элементу. Снаружи на него давитъ атмосфера p (фиг. 166); при переходѣ изъ наружной среды въ жидкую пленку, давленіе возрастаетъ на z; при переходѣ же изъ внутренней полости въ ту же пленку давленіе уменьшается на z. Слѣдовательно, давленіе во внутренней полости будетъ больше, чѣмъ во внѣшней средѣ, на $\frac{0.151}{r}+\frac{0.151}{r}=\frac{0.302}{r}$. Иначе говоря, снаружи на пузырекъ дѣйствуетъ давленіе p, а извнутри $p+\frac{0.302}{r}$. Если $r=0.001$ см., то избытокъ давленія равенъ 302 см. водяного столба. Если же радіусъ будетъ въ 3 раза меньше, то избытокъ внутренняго давленія надъ внѣшнимъ достигнетъ 1 атмосферы, а при такой разности давленій, находящійся внутри воздухъ долженъ диффундировать, и существованіе пузырчатаго элемента становится невозможнымъ.



Фиг. 166

Итакъ, гипотеза пузырчатаго строенія тумана должна быть отброшена.

Что касается эмбріональныхъ ледяныхъ кристалловъ, образующихся въ атмосферѣ, то вообще они имѣютъ форму шестигранныхъ прямыхъ призмъ съ притупленными ребрами у верхняго и нижняго основаній. Если кристаллы развиты сильно по оси, то они получаютъ форму ледяныхъ иглъ. Если развитіе по оси слабое, то кристаллъ имѣетъ форму пластинки. Притупляющія плоскости составляютъ съ осью уголъ 54°44′.

Размѣры эмбріональныхъ продуктовъ конденсаціи. Существуютъ способы опредѣленія размѣровъ элементовъ, образующихъ облако. Эти способы излагаются въ метеорологической оптикѣ. Они основаны на той зависимости, которая существуетъ между діаметрами туманныхъ шариковъ и діаметрами цвѣтныхъ колецъ, образующихся вокругъ солнца и луны (вѣнецъ или корона). Эти дифракціонныя явленія получаются тогда, когда между глазомъ наблюдателя и свѣтиломъ находится мало плотный слой тумана или облака. Kaemtz, измѣряя діаметры цвѣтныхъ колецъ, нашелъ, что діаметръ туманныхъ элементовъ равенъ:

зимою	0.0958 мм.
лѣтомъ	0.0165 »
среднее . . .	0.014—0.035 »

Digitized by Google

Dines и Assmann, микроскопическимъ путемъ, нашли:

Dines . . . 0.016– 0.027 мм.
Assmann . . 0.006—0.117 »

Средняя величина туманныхъ жидкихъ элементовъ равна 0.02 мм.[1]).

Роль пыли. Естественно предположить, что какъ только пары достигаютъ насыщенія, тотчасъ же начинается образованіе эмбріологическихъ элементовъ тумана. Но Coulier впервые показалъ, что, подъ колоколомъ воздушнаго насоса, только тогда образуется туманъ, когда воздухъ содержитъ пыль; безъ пыли воздухъ можно перенасытить парами.

Возьмемъ колбу съ водою: закроемъ колбу пробкою, черезъ которую проходитъ стеклянная трубка, соединенная съ разрѣжающимъ насосомъ; надъ водою скоро образуется насыщенный паръ, который, какъ извѣстно, есть безцвѣтный и совершенно прозрачный, а потому и невидимый газъ. Если же, однимъ или двумя ударами поршня, этотъ паръ быстро расширить и внезапно охладить, то онъ дѣлается пересыщеннымъ и осѣдаетъ въ непрозрачный туманъ, состоящій изъ капелекъ воды. Если позади сосуда поставить электрическую лампочку, то, въ моментъ осажденія, мы увидимъ рядъ цвѣтныхъ колецъ (корона или вѣнецъ) вокругъ источника свѣта. Но такое осажденіе пара происходитъ лишь тогда, когда сосудъ наполненъ обыкновеннымъ комнатнымъ воздухомъ, содержащимъ пыль; если же въ сосудѣ находится совершенно чистый воздухъ (очищенный отъ пыли предварительнымъ пропусканіемъ чрезъ ваточную пробку), то въ немъ туманъ не образуется—сосудъ остается совершенно прозрачнымъ, а если паръ осѣдаетъ, то исключительно на стѣнкахъ сосуда. Изъ всего этого мы должны заключить, что туманъ образуется вслѣдствіе осѣданія насыщеннаго пара на смоченную поверхность плавающихъ въ немъ пылинокъ, которыя служатъ ядрами для образующихся при этомъ капелекъ жидкости. При отсутствіи пыли паръ можетъ пересыщаться и не осѣдаетъ.

Еще болѣе развилъ этотъ вопросъ Aitken. Изъ опытовъ

---

[1]) См. также статью Peruter'a «Die Berechnung der Grösse der Wolkenelemente въ «Meteorologische Zeitschrift». Hann-Band. 1906, S. 378.

Digitized by Google

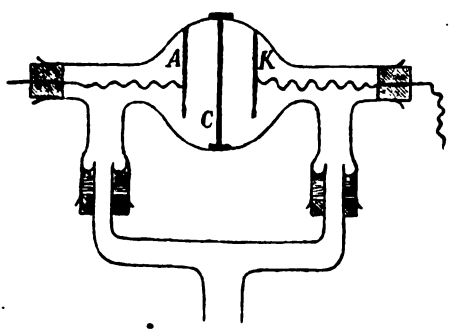
Aitken'a вывели даже поспѣшное заключеніе, что безъ пыли вовсе невозможно образованіе тумана и дождя; возможна только конденсація на *поверхности* твердыхъ тѣлъ. Но новѣйшіе опыты Wilson'a показали, что перенасыщеніе имѣетъ свои предѣлы. Обозначимъ черезъ v_1 объемъ насыщеннаго воздуха, освобожденнаго отъ пыли, и v_2—объемъ той же массы воздуха послѣ ея расширенія; конденсація возможна только тогда, когда $v_2 : v_1 > 1.25$. Какую же роль играетъ пыль въ процессѣ конденсаціи паровъ? Каждая пылинка является ядромъ, на которомъ начинается процессъ сгущенія. Мы видѣли выше, что упругость насыщеннаго пара зависитъ отъ формы поверхности жидкости, надъ которой онъ образуется. Изъ формулы лорда Kelvin'a (стр. 173) видно, что упругость пара надъ выпуклой поверхностью больше, а надъ вогнутой меньше, чѣмъ надъ плоской. Паръ осѣдаетъ на поверхность жидкости, когда его упругость сколько нибудь превышаетъ упругость испаренія этой жидкости. Упругость испаренія капли пропорціональна ея кривизнѣ; слѣдовательно, начальная стадія самостоятельнаго образованія капельки, когда ея размѣры безконечно малы, могла бы происходить только при безконечно большой упругости пара; на поверхность же пылинки, даже микроскопической, паръ можетъ осѣдать, будучи лишь немного пересыщенъ.

Роль іоновъ при образованіи тумана. Капельки тумана образуются не только вокругъ пылинокъ, но и вокругъ іоновъ электропроводящаго газа. Послѣ быстраго расширенія влажнаго воздуха, пылинки, на которыя осѣдаетъ паръ, отяжелѣвъ, падаютъ внизъ. Если влажный воздухъ нѣсколько разъ подъ рядъ расширять, то онъ очищается отъ пылинокъ, и новое расширеніе не сопровождается появленіемъ тумана; если же такой, очищенный отъ пыли, воздухъ подвергнуть дѣйствію какого-нибудь іонизатора (наэлектризованнаго острія, рентгеновскихъ лучей и т. п.), и затѣмъ быстро расширить, то туманъ вновь появляется. Слѣдующій опытъ Р. Гельмгольца наглядно доказываетъ справедливость этого заключенія. Колба съ водою закрыта пробкою, черезъ которую проходитъ узкая стеклянная трубочка. Нагрѣемъ колбу до кипѣнія воды; тогда изъ трубочки будетъ вырываться струя пара, которую освѣтимъ продольно лучами электрическаго фонаря; если на такую струю смотрѣть сбоку, поставивъ на другую сторону черную ширму, то она

Digitized by Google

представляется сѣрой и неопредѣленнаго очертанія. Вблизи начала струи помѣстимъ остріе, соединенное съ электрическою машиною; какъ только электричество начнетъ стекать съ острія, то струя ярко вспыхиваетъ и окрашивается въ яркіе цвѣта отъ тѣхъ дифракціонныхъ явленій, которыя вызываются образовавшимися капельками: по выходѣ изъ трубки струя не видна, въ нѣкоторомъ разстояніи она синяя, далѣе зеленая, желтая, красная, затѣмъ опять синяя и т. д.; различіе цвѣтовъ зависитъ отъ того, что въ разныхъ мѣстахъ струи образуются капельки различныхъ размѣровъ. Такое осѣданіе пара можно вызвать не только іонизированіемъ воздуха отъ наэлектризованнаго острія, но и другими іонизаторами: пламенемъ, рентгеновскими лучами, лучами радія и т. п.

Въ электропроводящемъ воздухѣ имѣются положительные и отрицательные іоны; одинаково ли дѣйствуютъ, какъ центры осѣданія, тѣ и другіе іоны? Рѣшеніемъ этого вопроса занялся Уильсонъ (C. T. R. Wilson). Сферическій сосудъ, въ которомъ вызывалось осѣданіе, раздѣлялся мѣдною перегородкой *C* (фиг. 167) на двѣ равныя части; въ каждой половинѣ сосуда находилось по электроду *A* и *K*; тонкій слой воздуха вблизи перегородки подвергался дѣйствію іонизатора (рентгеновскихъ лучей); среднюю перегородку отводили къ землѣ, лѣвый электродъ *A* заряжали положительно, а правый *K*—отрицательно. Подъ дѣйствіемъ электрическихъ силъ поля, въ освѣщенномъ слоѣ справа отъ перегородки отрицательные іоны входятъ въ послѣднюю, а положительные распространяются въ правой половинѣ сосуда; точно также, въ освѣщенномъ слоѣ слѣва отъ перегородки положительные іоны входятъ въ послѣднюю, а отрицательные распространяются въ лѣвой половинѣ сосуда; при такихъ условіяхъ, одна половина сосуда содержала положительные іоны, а другая—отрицательные. Затѣмъ приступали къ расширенію воздуха, заключающагося въ сосудѣ;

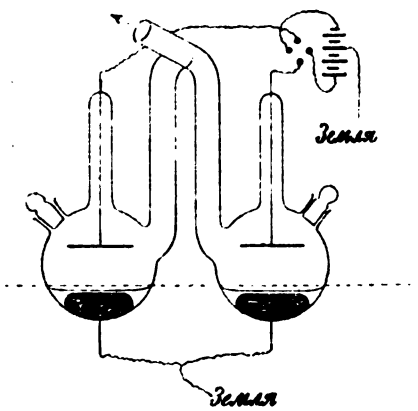


Фиг. 167.

Digitized by Google

если это расширеніе (измѣряемое отношеніемъ объемовъ опредѣленной массы воздуха послѣ и до разрѣженія) равнялось 1.25, то туманъ появлялся лишь въ той половинѣ сосуда, въ которой находились отрицательные іоны; при расширеніи—1.31, туманъ появлялся въ обѣихъ половинахъ сосуда. Итакъ, водяные пары легче осѣдаютъ на отрицательные іоны, чѣмъ на положительные [1]).

Въ 1906 году обнародована работа Przibram'a [2]), посвященная количественному изслѣдованію того же вопроса. Przibram подтвердилъ прежніе выводы Wilson'a, что, при $1.25 < \frac{v_2}{v_1} < 1.31$, водяные пары осаждаются только на отрицательныхъ іонахъ: но если $\frac{v_2}{v_1}$ дѣлается бо́льше 1.31, то осажденіе наступаетъ и на положительныхъ іонахъ. Приборъ Przibram'a имѣлъ слѣдующій видъ (фиг. 168). Два стеклянные шара, въ три сантиметра въ діаметрѣ, соединены U-образной трубкой между собою, и съ расширительнымъ аппаратомъ. Каждый изъ нихъ содержалъ нѣсколько капель ртути, отведенныхъ помощью платиновой проволоки къ землѣ. Надъ ртутью находился тонкій слой испытуемой жидкости. Надъ жидкостью, въ разстояніи 12 мм., находились два круглые электрода въ 2 сант. въ діаметрѣ, поддерживаемые при равныхъ, но противоположныхъ по знаку, потенціалахъ. При помощи особой свинцовой ширмы со щелями, направляли пучекъ рентгеновскихъ лучей такъ, чтобы іонизировать тонкіе слои воздуха подъ электродами. Въ шарѣ, содержащемъ положительный



Фиг. 168.

[1]) Зиловъ. Испареніе и осѣданіе. Физическое Обозрѣніе. 1905, № 6.

[2]) Ueber die Kondensation von Dämpfen in ionisirter Luft von Dr Karl Przibram. Sitzungsb. der K. Akademie der Wissenschaften in Wien. Math-nat. Klasse. Bd. CXV, Abt. II a. 1906.

Digitized by Google

электродъ, преобладали отрицательные іоны, а въ другомъ — положительные. Производя осторожно опытъ, можно было опредѣлить расширеніе, при которомъ въ одномъ шарѣ происходило сильное сгущеніе, а въ другомъ — образованіе лишь двухъ-трехъ капель. При дальнѣйшемъ расширеніи, начиналось осѣданіе пара и на положительныхъ іонахъ. Оказалось, что осѣданіе паровъ воды на отрицательныхъ іонахъ начинается тогда, когда $\frac{v_2}{v_1}=1.265$; конденсація же на положительныхъ іонахъ наступаетъ при $\frac{v_2}{v_1}=1.314$. Другія тѣла, какъ напримѣръ Methylalkohol, Aethylalkohol, Chloroform, обладаютъ противоположными свойствами: пары ихъ первоначально осаждаются на положительныхъ іонахъ и только впослѣдствіи на отрицательныхъ [1]).

Дальнѣйшія стадіи образованія верхнихъ осадковъ. Процессъ образованія дождя. Вслѣдъ за зарожденіемъ эмбріональныхъ элементовъ облака, наступаютъ дальнѣйшія стадіи процесса сгущенія: образованіе тончайшихъ, уже видимыхъ, капель, постепенное ихъ нарастаніе и, наконецъ, выпаденіе дождя. При восхожденіи на горы или во время воздушныхъ поднятій, удавалось иногда наблюдать всѣ эти разнообразныя стадіи. Таково образованіе дождя съ внѣшней стороны. Но самая сущность процесса, а также причины, способствующія увеличенію первичныхъ элементовъ, не вполнѣ выяснены. Можно сдѣлать нѣсколько предположеній.

Если въ насыщенномъ парѣ уже возникли маленькія капельки, образовавшіяся около взвѣшенныхъ пылинокъ, то размѣры ихъ, по всей вѣроятности, различны, а потому эти капельки обладаютъ различными упругостями испаренія. Легко видѣть, что безконечно малая капелька неустойчива; обладая очень большой упругостью испаренія, она, если только не находится въ сильно пересыщенномъ парѣ, будетъ испаряться, убывать и, наконецъ, исчезнетъ. Въ то же время, на бо́льшія капельки, обладающія меньшею упругостью испаренія, будетъ осаждаться паръ и тѣмъ быстрѣе, чѣмъ размѣры ея больше.

[1]) Литературу по этому вопросу см. статью Gerdien'a въ «Jahrbuch der Radioaktivität», 1904, I, 24.

Digitized by Google

Такимъ образомъ, въ массѣ тумана, большія капельки растутъ на счетъ меньшихъ и скоро достигаютъ конечныхъ размѣровъ.

Но можно сдѣлать и другое допущеніе: мелкіе элементы, съ теченіемъ времени, сливаются въ болѣе крупныя капли. Весь вопросъ въ томъ, какія причины вызываютъ это сближеніе и слiяніе капель. Нѣкоторые изслѣдователи допускаютъ, что такому слiянію можетъ способствовать движеніе воздуха. Нерѣдко можно наблюдать тяжелыя, темныя тучи, долго не дающія осадковъ. Вдругъ наступаетъ моментъ, когда туча разрѣшается дождемъ. Нерѣдко это разрѣшеніе происходитъ тотчасъ вслѣдъ за ударомъ молніи и грома. Иногда же туча проносится, вовсе не давая осадковъ. Явленіе происходитъ такъ, какъ будто какая-то внѣшняя причина сообщаетъ импульсъ для нарастанія мелкихъ первичныхъ элементовъ дождя. Казалось бы, что если въ извѣстномъ пространствѣ, находящемся въ совершенномъ покоѣ, образовались элементы тумана, то, въ подобной средѣ, не существуетъ условій, необходимыхъ для слiянія капель. Отдѣльные элементы этой тучи должны медленно опускаться съ извѣстной скоростью. Необходимо нарушить однородность этой массы; вся суть теоріи дождя заключается въ томъ, чтобы указать причину, нарушающую однородность подобной тучи. Несомнѣнно, что движеніе воздуха можно разсматривать, какъ одну изъ этихъ причинъ. Reynolds приписываетъ нарушеніе этой однородности охлажденію *внѣшней* поверхности тучи вслѣдствіе лучеиспусканія. Охлажденныя верхнія частицы сгущаютъ на своей поверхности больше влаги, дѣлаются тяжелѣе, падаютъ внизъ, сливаются съ другими; мѣсто ихъ занимаютъ частицы, ниже лежащія и т. д. Lenard приписываетъ главную роль электричеству [1]).

Мы сказали, что элементы облаковъ должны получить, вообще, извѣстный импульсъ для того, чтобы началось нарастаніе первичныхъ туманныхъ пузырьковъ и выпаденіе дождя. Лѣтъ десять тому назадъ, явилась мысль, что сильныя искусственныя сотрясенія въ атмосферѣ могутъ вызвать выпаденіе осадковъ; является, слѣдовательно, возможность *искусственно* вызывать дождь помощью взрывовъ, производимыхъ на земной поверхности или

[1]) Lenard. Ueber Regen. Meteorologische Zeitschrift. 1904, S. 249. Въ этомъ же журналѣ можно найти многочисленныя работы и литературныя указанія по вопросу объ образованіи дождя.

Digitized by Google

на извѣстной высотѣ въ атмосферѣ. Опыты искусственнаго образованія дождя вызвали, въ свое время, большую сенсацію; но они окончились, какъ и можно было ожидать, полной неудачей. И дѣйствительно, если даже допустить, что взрывы и сотрясенія могутъ дать толчекъ для нарастанія капель, то это возможно только въ томъ случаѣ, когда туча уже образовалась, запасъ влаги накопился и недостаетъ только импульса для начала дальнѣйшей стадіи сгущенія. Атмосфера должна быть въ состояніи *неустойчиваго* равновѣсія. Но если атмосфера далека отъ насыщенія, если надъ данной мѣстностью господствуетъ область высокаго давленія, крайне бѣдная влагой, то сотрясенія не могутъ ни создать, ни привлечь влаги; въ крайнемъ случаѣ, они могутъ вызвать лишь незначительные восходящіе токи и, въ свою очередь, незначительные осадки, которые, можетъ быть, даже не достигнутъ земной поверхности, а испарятся въ воздухѣ. Указывали на то, что послѣ большихъ сраженій бывали ливни. Но, съ одной стороны, остается неизвѣстнымъ, какое число сраженій и взрывовъ не сопровождалось вовсе осадками, вслѣдствіе чего, вѣроятность дождя послѣ канонады не можетъ быть опредѣлена. Съ другой стороны, совершенно неизвѣстно состояніе погоды до и во время сраженій. Столь же неудачны, какъ это окончательно установлено Pernter'омъ, опыты *разсѣянія* градовыхъ тучъ стрѣльбою изъ мортиръ [1]).

Капли воды, особенно во время сильныхъ грозовыхъ ливней, падаютъ внизъ съ значительной высоты, принося съ собою болѣе низкую температуру высокихъ слоевъ. Вода эта, испаряясь на земной поверхности, связываетъ, въ формѣ скрытаго, нѣкоторое количество тепла; наконецъ, капли воды, падая внизъ, увлекаютъ съ собой нѣкоторое количество болѣе холоднаго воздуха высокихъ слоевъ. Всѣ эти обстоятельства, вмѣстѣ взятыя, способствуютъ тому, что, послѣ выпаденія грозового ливня и особенно послѣ града, температура воздуха сильно понижается.

Величина капель и ихъ распредѣленіе. Въ настоящее время въ метеорологіи преобладаетъ *физическое* направленіе работъ. Въ виду этого, усилія ученыхъ направлены, преиму-

---

[1]) Pernter. Das Ende des Wetterschiessens. Meteorologische Zeitschrift. 1907, März, S. 97.

Digitized by Google

щественно, на изученіе внутренней *физической* стороны явленій; при этомъ, весьма часто стали примѣнять, кромѣ непосредственныхъ наблюденій, чисто *экспериментальные* методы и даже искусственное, такъ сказать лабораторное, воспроизведеніе многихъ явленій природы. На предыдущихъ страницахъ этой главы изложены кратко результаты подобныхъ изысканій по отношенію къ механизму образованія различныхъ осадковъ въ атмосферѣ Слѣдуя по этому пути, естественно заинтересовались вопросами о величинѣ капель и законѣ ихъ распредѣленія, скорости паденія, химическомъ составѣ и т. под.

Размѣры капель во время одного и того же дождя различны отъ 0.5 до 5 мм. въ діаметрѣ. Тяжелыя капли падаютъ быстрѣе легкихъ, а потому, въ началѣ грозового дождя мы замѣчаемъ обыкновенно паденіе крупныхъ капель. Въ прежнее время существовали разсказы о томъ, что діаметръ капель при тропическихъ дождяхъ достигаетъ парижскаго дюйма (27 мм.). Оказалось, что это мнѣніе сильно преувеличено. Wiesner[1]) экспериментально показалъ, что наибольшія капли не могутъ быть тяжелѣе 0.2 грамма. Если большая капля падаетъ съ высоты 22 метровъ, то она разбивается на части; вѣсъ каждой части не превышаетъ 0.2 грамма, т. е. 7 мм. въ діаметрѣ. Ritter нашелъ, что максимальный вѣсъ капель—0.14 грамма или 6.6 мм. въ діаметрѣ. При обыкновенномъ дождѣ вѣсъ капель не превышаетъ 0.065 грамма. Wiesner, на островѣ Явѣ, во время сильнѣйшаго дождя, опредѣлилъ средній вѣсъ капель 0.16 грамма или 6.7 мм. въ діаметрѣ, а въ австрійскихъ Альпахъ нашелъ, что максимумъ вѣса капли составляетъ 0.12—0.13 грамма (діаметръ—6 мм.). Утверждали, что въ тропическомъ поясѣ дождь падаетъ не каплями, а льетъ иногда непрерывной струей. Невѣроятность этого утвержденія очевидна. Во-первыхъ, тонкія струйки всегда стремятся разбиться на капли; во-вторыхъ, если допустить существованіе такого дождя, льющаго тонкими струйками не болѣе 1 мм. въ сѣченіи, то количество воды, которая выпадетъ въ теченіе 30 минутъ, во много разъ превыситъ все извѣстное намъ о самыхъ интенсивныхъ ливняхъ на земномъ

[1]) Wiesner. Beiträge zur Kenntnis des tropischen Regens. Sitzungsber. der K. Akademie der Wissenschaften. Wien. Math.-naturw. Klasse, Bd. CIV, Abt. I, S. 1397, 1895.

Digitized by Google

шарѣ. Приведемъ здѣсь одинъ изъ опытовъ Wiesner'a. Подъ давленіемъ столба воды въ 20 сантиметровъ, вода вытекала изъ бюретки съ отверстіемъ въ 1.5 мм. Уже въ разстояніи 12 метровъ отъ отверстія, струя разбивалась на капли; каждую секунду выпадалъ 1 куб. сантиметръ воды. Если допустимъ, что на квадратный сантиметръ падалъ одинъ такой столбъ, то высота выпавшаго дождя составитъ 600 мм. въ минуту или 36000 мм. въ часъ, т. е. въ *часъ* должно выпасть воды въ 3 раза больше, чѣмъ *годовое* количество воды въ Черрапонжѣ (въ Индіи), наиболѣе дождливомъ мѣстѣ земного шара.

Defant[1]) и Becker[2]) примѣнили, для изученія величины капель и ихъ распредѣленія, методъ всасыванія. Если капля упадетъ на пропускную бумагу, извѣстнымъ образомъ обработанную, то она расплывается на ней въ формѣ кружка; капли одинаковаго вѣса занимаютъ одинаковыя протяженія. Обратно, по величинѣ кружковъ можно судить о вѣсѣ капель, если только бумага предварительно градуирована. Кружки, полученные отъ паденія дождевыхъ капель, можно фиксировать[3]). Оказалось, что вѣса наиболѣе часто выпадающихъ капель находятся въ отношеніи

$$1:2:3:4:6:8:12:16:\ldots$$

Главные максимумы относятся между собою какъ

$$1:2:4:8.$$

Максимальная повторяемость падаетъ на слѣдующіе вѣса (въ миллиграммахъ):

0.11, 0.23, 0.35, 0.46, 0.69, 0.92, 1.38, 1.84, 2.76, 3.68.

Значительный интересъ представляетъ также вопросъ о содержаніи воды въ облакѣ. Заслуживаетъ вниманія работа Conrad'a[4]), который нашелъ, что наиболѣе плотное изъ всѣхъ

[1]) Defant. Meteorologische Zeitschrift. 1905, S. 321.

[2]) Becker. Zur Messung der Tropfengrössen bei Regenfällen. Meteor Zeitschrift. 1907, S. 247.

[3]) Бумага можетъ быть выписана по слѣдующему адрессу: Dresden. Max Dreverhoff, Barytfiltrierpapier, Marke I, Qualität № 311.

[4]) Denkschriften der Akademie der Wissenschaften. Wien. 1901, 73, S. 115.

Digitized by Google

изслѣдованныхъ облаковъ заключало 5 граммовъ воды въ кубическомъ метрѣ; содержаніе воды въ газообразной формѣ всегда превышало жидкую часть облака. Если допустить, что радіусъ каждой капли равенъ 0.001 сантим., то среднее число капель въ кубическомъ сантиметрѣ равно 1000; среднее взаимное разстояніе капель составляетъ около 1 мм. Относительно тумана полученъ слѣдующій результатъ. Если густота тумана такова, что черезъ него можно видѣть предметы на разстояніи

25	шаговъ,	то	въ	куб.	метрѣ	заключается	4.5	грамма	воды
30—40	»	,	»	»	»	»	3.0	»	»
70	»	,	»	»	»	» менѣе	1	»	»

Въ послѣднее время выдвинутъ весьма важный вопросъ объ электрическомъ состояніи выпадающихъ изъ атмосферы осадковъ [1]). Оказалось, что осадки нерѣдко несутъ нѣкоторый, иногда положительный, иногда отрицательный, электрическій зарядъ. Наблюдали случаи, когда, во время одного и того же дождя, знакъ заряда мѣнялся нѣсколько разъ. Вопросъ этотъ подробнѣе разсмотримъ въ электрометеорологіи.

Образованіе снѣга. Снѣжинки образуются изъ первоначальныхъ элементовъ, путемъ осажденія на нихъ новыхъ кристалловъ. При этомъ, вновь осаждающіеся кристаллы образуютъ съ основными и между собою, преимущественно, уголъ въ 30° и его производные. Вслѣдствіе этого, получается огромное разнообразіе формъ снѣжинокъ. Иногда можно даже прослѣдить непосредственно различныя стадіи процесса нарастанія снѣга. Такъ, Tissandier, во время воздушнаго поднятія 8 ноября 1868 года, наблюдалъ внизу, у земной поверхности, большія хлопья снѣга; по мѣрѣ поднятія шара, хлопья уменьшались; на высотѣ 2100 метровъ, аэронавты достигли мѣста зарожденія снѣга; воздухъ былъ прозраченъ и виднѣлись лишь мелкіе, мерцающіе, ледяные кристаллики.

Форма снѣжинокъ; снѣговые цвѣты. Мы уже видѣли, что эмбріональныя формы кристаллизаціи воды имѣютъ видъ шестигранныхъ прямыхъ призмъ. При благопріятныхъ условіяхъ,

[1]) J. Elster und H. Geitel. Beobachtungen, betreffend die elektrische Natur der atmosphärischen Niederschläge. Sitzungsberichte d. K. Akademie d. Wiss. in Wien. Mathem.-naturw. Classe; Bd. XCIX. Abth. II a, Mai 1890.

Digitized by Google

кристаллы эти смерзаются, образуя разнообразнѣйшія сложныя формы. Въ настоящее время, извѣстны уже [1]) многочисленные виды снѣжинокъ. На таблицѣ I изображены болѣе простыя формы, позаимствованныя изъ книги Hellmann'a. Таблицы II, III, IV и V представляютъ копіи прекрасныхъ микрофотографій г. Сигсона въ Рыбинскѣ. Весьма причудливыя формы образуютъ также кристаллы, которые сублимируются зимою, во время сильныхъ морозовъ, на оконныхъ стеклахъ нашихъ домовъ. Фламмаріонъ посвятилъ цѣлую книгу обозрѣнію этихъ формъ. Крайне интересныя формы описаны также италіанскимъ геологомъ Bombici [2]). Этотъ ученый наблюдалъ снѣгъ на равнинахъ сѣверной Италіи. Въ теченіе нѣсколькихъ сутокъ, поверхность снѣга подвергалась послѣдовательно, при ясной и тихой погодѣ, то поверхностному таянію въ дневные часы, то легкому замерзанію ночью. Въ результатѣ, часть равнины покрылась причудливыми ледяными цвѣтами (таблица VI—VII).

Форма градинъ. Давно было извѣстно, что градины заключаютъ въ своей центральной части рыхлое ядро, на которомъ расположены концентрическіе слои, то болѣе плотнаго, то болѣе рыхлаго, льда. Въ нѣкоторыхъ градинахъ можно видѣть какъ бы рядъ лучистыхъ прослоекъ, идущихъ отъ центра къ перифериямъ. Но ближайшее разсмотрѣніе градинъ обнаружило, въ отдѣльныхъ случаяхъ, кристаллическое строеніе: на поверхности градины иногда виденъ (фиг. 169, сверху) рядъ вполнѣ развившихся кристалловъ (наблюденія Абиха) или вся градина представляетъ [3]) гнѣздо (фиг. 169, внизу), напоминающее гнѣздо кристалловъ кварца (наблюденіе Секки). Такія кристаллическія наслоенія особенно часто наблюдалъ Абихъ на Кавказѣ и рисунки градинъ даны въ его книгѣ [4]). Изученіемъ структуры градинъ, въ связи съ способомъ ихъ образованія, особенно под-

---

[1]) См. Hellmann. Schneekrystalle. Beobachtungen und Studien. Berlin. 1893, а также работа Westmann'a о формѣ и величинѣ снѣговыхъ кристалловъ въ «Mission scientifique pour la mesure d'un arc du méridien au Spitzberg 1899—1902. Mission suédoise. Tome II, Sect. VIII. Stockholm. 1906.

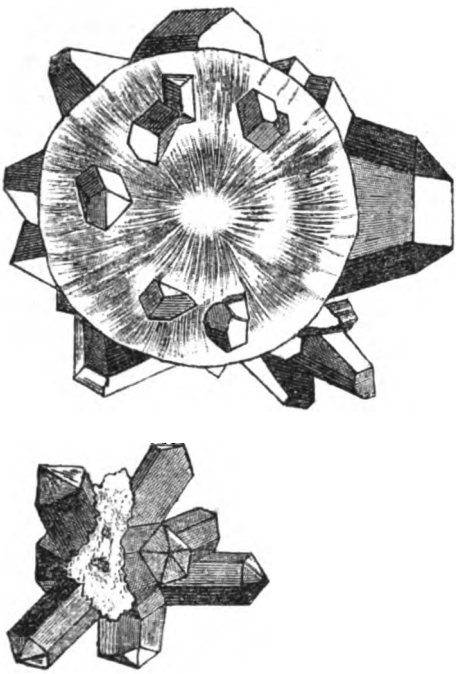
[2]) Bombici. Scienza popolare, prelezioni, letture, conference. Bologna. 1883. I grandi mirabili fiori di neve; p. 177.

[3]) Comptes Rendus de l'Acad. des Sciences. Paris. 1876, p. 1010.

[4]) Abich. Ueber die krystallinischen Hagel. Tiflis. 1871.

Digitized by Google

робно занимался покойный профессоръ Ѳ. Н. Шведовъ [1]). Исходя изъ той мысли, что для образованія ледяныхъ кристалловъ значительной величины требуется продолжительное время и покойное состояніе среды, проф. Шведовъ приходитъ къ тому заключенію, что градины слѣдуетъ разсматривать, какъ ледяныя космическія тѣльца, залетающія къ намъ изъ междупланетной среды, на подобіе обыкновенныхъ метеоровъ. Градобитія являются результатомъ вторженія въ нашу атмосферу ледянаго метеорнаго тока космическаго происхожденія. Хотя эта теорія стоитъ въ полномъ противорѣчіи съ дѣйствительными фактами, но заслуга проф. Шведова заключается въ томъ, что онъ впервые обратилъ серьезное вниманіе на строго научное изученіе структуры градинъ. Существуютъ также попытки воспроизвести искусственно формы градинъ и, въ этомъ отношеніи, почетное мѣсто принадлежитъ изслѣдованіямъ проф. Н. А. Гезехуса [2]). Въ опытахъ проф. Н. А. Гезехуса, сюрьма плавилась на желѣзныхъ ложкахъ и затѣмъ погружалась въ воду, гдѣ она быстро застывала, принимая разнообразныя формы въ зависимости отъ усло-



Фиг. 169.

[1]) Шведовъ. Что такое градъ? Спб. 1881. Работа Ѳ. Н. Шведова вызвала обширный обмѣнъ мнѣній по вопросу о происхожденіи града. Напечатанъ цѣлый рядъ статей въ метеорологическихъ и физическихъ журналахъ.

[2]) Гезехусъ. «Объясненіе образованія нѣкоторыхъ формъ градинъ». Журналъ Физико-Химическаго Общества. Спб. 1891, стр. 401, а также «О нѣкоторыхъ особенныхъ формахъ градинъ, наблюдавшихся на юго-западѣ Россіи въ 1891 году». Извѣстія Техническаго Института 1892 годъ. Спб.

Digitized by Google

вій ея погруженія. Полученныя формы, въ общемъ, напоминали видъ и структуру ледяныхъ градинъ.

Организованная мною въ 1885 году метеорологическая сѣть станцій успѣла собрать обширный матеріалъ относительно градобитій и формъ града на юго-западѣ Россіи. Матеріалы напечатаны въ различныхъ выпускахъ нашего изданія «Метеорологическое Обозрѣніе» между 1886 — 1905 годами. Въ настоящей книгѣ мы приведемъ наиболѣе замѣчательныя формы градинъ, описанныя нашими наблюдателями (таблица VIII). Остановимся здѣсь на наиболѣе причудливой формѣ, описанной П. А. Зеленымъ [1]). Градъ выпалъ во время грозы 19 августа 1887 года въ деревнѣ Зеленовкѣ, Херсонской губерніи, Елисаветградскаго уѣзда. Онъ сопровождался сильнымъ вихремъ, продолжался всего $^1/_4$ часа и покрылъ пространство не болѣе 30 десятинъ. Надъ мѣстомъ, пораженнымъ градомъ, стояло небольшое кучевое облако; но градъ, повидимому, падалъ изъ болѣе высокихъ ярусовъ атмосферы, гдѣ было замѣтно, грязно бѣлое, тающее облако. Градъ былъ очень рѣдокъ. П. А. Зеленый описалъ слѣдующія формы градинъ.

1) Средина углубленная — цвѣта темнаго синеватаго льда; затѣмъ вокругъ какъ бы фаянсовый бѣлый кружокъ, въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ положена тѣнь,— грязноватый, что подало поводъ заподозрить присутствіе пыли; первые два ряда листьевъ — цвѣта бѣлаго фаянса, а послѣдній рядъ листьевъ — цвѣта обыкновеннаго льда (фиг. 170).

Фиг. 170.

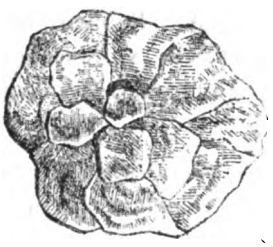
2) Средина выпуклая; такія градины попадались трехъ сортовъ; всѣ — цвѣта молочнаго или цвѣта обыкновеннаго льда, прозрачныя, или же верхніе срединные листья цвѣта бѣлаго фаянса, а остальные листья прозрачные. Оборотная сторона нѣкоторыхъ градинъ чрезвычайно походила на оборотную сторону розъ съ зачаткомъ

[1]) Клоссовскій. Замѣчательныя формы градинъ, собранныя на юго-западѣ Россіи. Одесса. 1890.

Digitized by Google

Фиг. 171.

даже стебля. Одна, всего одна, градина упала громадныхъ размѣровъ (не менѣе чайнаго блюдечка), но составляла ли она одинъ цвѣтокъ или это было соединеніе нѣсколькихъ — сказать навѣрное нельзя, такъ какъ она разбилась на очень мелкіе куски, отскочившіе въ разныя стороны при паденіи. Между этими градинами попадались нѣкоторыя очень рыхлыя, такъ что ихъ невозможно было взять въ руки (фиг. 171 и 172).



Фиг. 172.

3) Градины (фиг. 173) были совершенно круглыя, какъ стеклянные дѣтскіе шарики; сами были прозрачныя, но въ серединѣ украшены бѣлыми тонкими полосками, чрезвычайно правильно расположенными, какъ это бываетъ въ разноцвѣтныхъ дѣтскихъ шарикахъ — игрушкахъ.

Фиг. 173.

4) Нѣкоторыя градины были плоскія, немного вогнутыя или немного выпуклыя, всѣ цвѣта бѣлаго до такой степени, что ихъ можно было принять за куски разбитаго чайнаго блюдечка или тарелки (фиг. 174).

Фиг. 174.

Фиг. 175.

Digitized by Google

5) Градины (фиг. 175) попадались круглыя, но неправильной формы, какъ обгрызенное яйцо; середина, какъ обозначено, молочнаго цвѣта и по ней полосы кругами болѣе бѣлаго цвѣта.

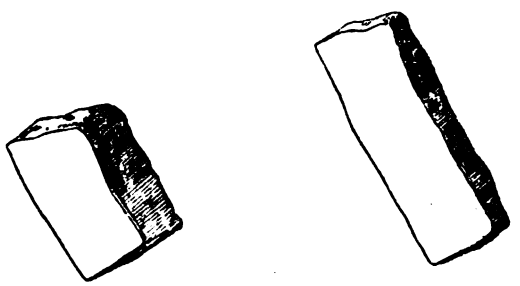
Фиг. 176.

6) Въ градинахъ (фиг. 176) бѣлыя полосы шли кругами по всей градинѣ.

7) Куски льда прозрачные молочнаго цвѣта или цвѣта бѣлаго фаянса (фиг. 177).

Профессоръ Новороссійскаго университета А. А. Вериго любезно согласился сдѣлать химическій анализъ воды, собранной отъ таянія градинъ. Вотъ каковы результаты:

«Въ водѣ я замѣтилъ присутствіе лишь крайне слабыхъ «слѣдовъ хлоридовъ. Весь остатокъ представляется едва замѣт-



Фиг. 177.

«нымъ для глаза; въ немъ есть органическое вещество и кремневая кислота, которая, быть можетъ, является продуктомъ дѣйствія воды на стекло баночки, въ которой вода сохранялась. «Ни желѣза, ни никкеля нѣтъ въ металлическомъ видѣ. Муть «и осадокъ состояли изъ частицъ очень тонкой глины, кварцевыхъ зеренъ и различныхъ органическихъ и организованныхъ «веществъ, между которыми я замѣтилъ споры».

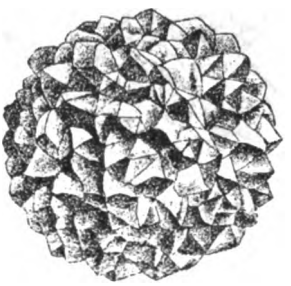
Замѣчательно, что формы, сходныя съ формами П. А. Зе-

Digitized by Google

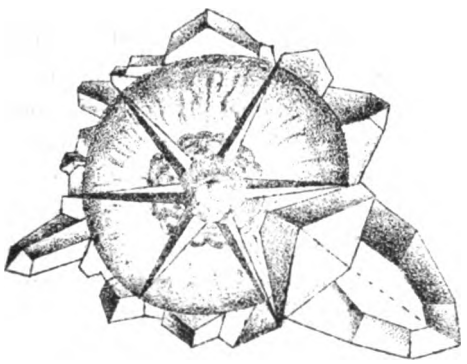
ленаго, наблюдали и въ другихъ мѣстностяхъ земного шара. Фигуры 178 – 182 заимствованы нами изъ статьи Tomlison'a [1]).

Фиг. 178.

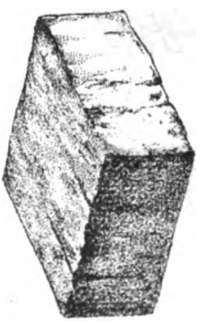
Фиг. 179.



Фиг. 180.



Фиг. 181.



Фиг. 182.

Приведемъ здѣсь еще случай грозы 24 іюля 1906 года, описанный наблюдателемъ нашей сѣти И. П. Савченко въ селѣ Соловьевкѣ, Кіевской губерніи, Радомысльскаго уѣзда. Гроза началась въ 6 час. 20 минутъ пополудни. Выпаденіе града сопро-

[1]) The Philosophical Magazine. September, 1889. Статья Tomlison a переведена и напечатана въ журналѣ «Ciel et Terre» (dixième année, 1890) подъ заглавіемъ «Théorie de la grêle», pp. 478, 497, 549.

Digitized by Google

вождалось сильнѣйшимъ вихремъ, продолжавшимся не больше двухъ минутъ. Градины имѣли форму груши съ острыми сосульками. Форма градинъ, въ натуральную величину, представлена на фиг. 183. Вихремъ опрокинуты двѣ вѣтреныя мельницы, съ церкви снесена глава съ крестомъ, разметано много сараевъ, вырваны съ корнемъ толстыя грушевыя и вербовыя деревья; людей, силой вѣтра, катало по землѣ.

Фиг. 183.

Вообще, вопросы объ образованіи града, его структурѣ и кристаллической формѣ остаются открытыми. Въ настоящее время, мы можемъ только указать источникъ тѣхъ низкихъ температуръ, которыми обусловливается образованіе ледяныхъ осадковъ въ нашей атмосферѣ. Источникъ этотъ — восходящіе токи. Необходимы дальнѣйшія непосредственныя наблюденія, а также обширныя экспериментальныя изслѣдованія относительно условій кристаллизаціи воды, а также физическихъ свойствъ ледяныхъ кристалловъ.

Значительную трудность въ теоріи града представляетъ вопросъ о возможности существованія въ воздухѣ, хотя временно, градинъ, вѣсъ которыхъ, въ отдѣльныхъ случаяхъ, можетъ достигать одного и даже двухъ фунтовъ. Профессоръ Гезехусъ слѣдующимъ образомъ заканчиваетъ свою работу о структурѣ градинъ: «благодаря обширной метеорологической сѣти юго-запада Россіи, съ надежными и интересующимися своимъ дѣломъ наблюдателями, спорный и трудный вопросъ объ образованіи града имѣетъ возможность вѣрнымъ путемъ постепенно подвигаться впередъ къ своему окончательному разъясненію».

Химическій анализъ осадковъ. Выпадающіе изъ атмосферы осадки уносятъ къ землѣ, прежде всего, пыль, плавающую

Digitized by Google

въ атмосферѣ и, тѣмъ самымъ, очищаютъ воздухъ, дѣлаютъ его прозрачнѣе; иногда количество пыли бываетъ такъ велико, что дождь окрашивается въ желтый, красный и другіе цвѣта, смотря по характеру содержащихся въ немъ пылинокъ.

Кромѣ того, осадки заключаютъ въ себѣ различныя соединенія. Въ числѣ ихъ особенное значеніе для земледѣлія имѣютъ различныя соединенія азота. Систематическія наблюденія, въ этомъ отношеніи, сдѣланы въ обсерваторіи Монсури. Тридцатилѣтнія (1876—1905) наблюденія дали слѣдующіе результаты (въ миллиграммахъ):

	высота слоя осад.	амміакъ		азотн. кисл.	
		на 1 кв. метръ	на 1 литръ	на 1 кв. метръ	на 1 литръ
январь .	35.3 мм.	108	3.1	22	0.6
февраль .	33.5 »	81	2.4	20	0.6
мартъ. .	39.8 »	100	2.5	24	0.6
апрѣль .	42.9 »	93	2.2	28	0.7
май . .	47.7 »	95	2.0	30	0.6
іюнь . .	54.6 »	102	1.9	30	0.6
іюль . .	50.7 »	84	1.7	32	0.6
августъ .	50.1 »	92	1.8	31	0.6
сентябрь.	50.3 »	98	1.9	33	0.7
октябрь .	54.8 »	109	2.0	38	0.7
ноябрь .	45.5 »	102	2.2	28	0.6
декабрь .	45.0 »	101	2.2	30	0.7
годъ . .	550.2 »	1165	—	346	—

Вообще, дождь даетъ въ паркѣ Montsouris ежегодно 15 килограммовъ азота на гектаръ [1]).

Въ Россіи подобныя изслѣдованія выполнены въ магнитометеорологической обсерваторіи Новороссійскаго университета въ Одессѣ, А. Г. Позняковымъ, и въ деревнѣ Плоти, имѣніи князя Трубецкаго, химикомъ Б. Вельбелемъ [2]). А. Г. Позняковъ слѣдующимъ образомъ резюмируетъ главнѣйшіе результаты своихъ изслѣдованій:

[1]) Annales de l'observatoire municipal (Observatoire de Montsouris). 1905, t. VI, p. 296—300.

[2]) Résultats des travaux de la station expérimentale agronomique de Ploti durant la décade de 1895—1904; édition de M. le prince Paul Troubetzkoy. Odessa. 1906.

Digitized by Google

1) Осадки наиболѣе богаты поваренной солью. Среднее содержаніе хлора поваренной соли въ литрѣ осадковъ за 9 мѣсяцевъ наблюденій=17.9 mgr. на литръ.

2) Среднее содержаніе амміака — 0.9 mgr. на литръ, азотной кислоты — 0.8 mgr. Грозы не вліяли на составъ осадковъ. Послѣ же засухи наблюдалось повышенное количество амміака въ осадкахъ.

3) Осадки, сопровождавшіеся вѣтрами съ моря, содержали меньше всего амміака и азотной кислоты; осадки при вѣтрахъ отъ города наиболѣе богаты этими соединеніями.

4) Въ нижнихъ осадкахъ (роса, туманъ, иней, изморозь) почти въ $2^1/_2$ раза больше амміака и во столько же разъ меньше азотной кислоты. Въ нихъ же почти всегда обнаруживалось присутствіе азотной кислоты и сравнительно бо́льшее количество хлора поваренной соли, чѣмъ въ верхнихъ осадкахъ.

5) За весь періодъ осадки принесли почвѣ 1.5 килогр. связаннаго азота на десятину.

Осадки, такимъ образомъ, сообщаютъ почвѣ нѣкоторый запасъ азота. По анализамъ А. Г. Познякова, осадки Одессы доставили почвѣ въ теченіе 9 мѣсяцевъ (апрѣль—декабрь 1904 г.) 2.2 килогр. на гектаръ. Для сравненія, приводимъ среднія годовыя числа, найденныя для другихъ станцій [1]) (въ килограммахъ на гектаръ):

с. Плоти		4.2
Rotahamsted (Англія)		8
Montsouris		15
Regenwalde	Германія	17
Proskau	Германія	23
Insterburg	Германія	6.2
Ruchen (Венгрія)		2.1

При анализахъ градинъ, кромѣ указанныхъ только что соединеній, находимы были: атмосферная пыль, сухія части растеній, кристаллы нѣкоторыхъ минераловъ и даже бактеріи. Докторъ Буйвидъ напечаталъ результаты анализа градинъ, выпавшихъ въ Варшавѣ 4 мая 1887 года [2]). Отдѣльныя градины

[1]) Позняковъ. Журн. Опытной Агрономіи, 1904, стр. 771.

[2]) Wszechswiat отъ 11 декабря 1887 года, а также: Клоссовскій. «Осадки юго-запада Россіи, ихъ распредѣленіе и предсказаніе». Одесса. 1888 г., стр. 65.

Digitized by Google

имѣли въ діаметрѣ отъ 4 до 6 сантиметровъ и представляли чечевицы изъ 5—7 слоевъ. На поверхности онѣ были покрыты болѣе или менѣе ясными призматическими кристаллами. Приблизительный расчетъ показалъ, что въ 1 куб. сантиметр. воды, полученной отъ таянія градины, находилось 21000 бактерій, изъ которыхъ каждая разрослась въ колонію. Этотъ неожиданный результатъ служитъ доказательствомъ, что эти бактеріи не происходятъ изъ воздуха, такъ какъ въ литрѣ воздуха Буйвидъ никогда не находилъ болѣе 100 бактерій. Результаты культуры обнаружили, что въ данномъ случаѣ имѣемъ дѣло съ бактеріями воды и притомъ воды стоячей. Кромѣ различныхъ бактерій, свойственныхъ водѣ (двѣ наиболѣе характерныя — B. fluorescens liquefacicus и B. fluorescens putivus), Буйвидъ открылъ присутствіе вида, найденнаго въ стоячей водѣ Цопфомъ и Флюгге (B. janthinus), образующаго темно-фіолетовый, почти чернильный, покровъ, на поверхности, на которой онъ разростается. Анализъ этотъ обнаруживаетъ тотъ фактъ, что въ образованіи градинъ участвуютъ не только пары воды, находящіеся въ атмосферѣ, но также, очевидно, и жидкія частицы воды, оторванныя вихремъ съ поверхности водъ на земной поверхности и поднятыя вѣтромъ на нѣкоторую высоту. Въ пользу подобнаго взгляда говоритъ и то обстоятельство, что въ массѣ градинъ находятъ небольшіе обломки горныхъ породъ мѣстнаго происхожденія. Образованіе градинъ происходитъ, повидимому, на высотахъ, до которыхъ достигаютъ наши земные вихри.

Облака, ихъ форма и высота. Облака отличаются между собою своей структурой. *Высокія* облака состоятъ изъ ледяныхъ кристалловъ, болѣе низкіе ярусы—изъ мельчайшихъ водяныхъ капель. Оптическія явленія даютъ возможность судить о внутреннемъ строеніи облака. Круги около солнца и луны, ложныя солнца и луны, вертикальные свѣтовые столбы служатъ несомнѣнными указателями ледянаго, такъ сказать, строенія облака. Облака отличаются между собою также и своими внѣшними очертаніями Существуетъ особая классификація формъ облаковъ, данная Говардомъ, измѣненная и дополненная Эберкромби и Гильдебрандсономъ. Мы не будемъ останавливаться на описаніи различныхъ формъ этой классификаціи; усвоить себѣ эти формы можно лишь путемъ тщательнаго изученія ихъ по атласу и фотографическимъ снимкамъ. Такіе атласы изданы, между про-

Digitized by Google

чимъ въ Парижѣ [1]) и въ Петербургѣ [2]). Въ настоящее время готовится къ печати новый международный атласъ подъ главнымъ руководствомъ Гильдебрандсона. Ограничимся только перечисленіемъ главныхъ, принятыхъ нынѣ, группъ облаковъ. Въ каждой группѣ различаютъ рѣзко очерченныя и расплывчатыя формы.

A) Высочайшія облака (средняя высота 9000 метровъ).

Рѣзко очерченныя формы.	Расплывчатый покровъ.
1. Перистыя (Cirrus); около 10.000 метровъ высоты.	2. Перисто-слоистыя (Cirro-Stratus); на высотѣ 7500 м.

B) Средне-высокія (средняя высота 4000—7000 метровъ).

3. Перисто кучевыя или барашки (Cirro-Cumulus); на средней высотѣ 7500 м.	5. Верхне-слоистыя (Alto-Stratus) высота 5000 метровъ.
4. Верхне-кучевыя (Alto-Cumulus), высота 4000 м.	

C) Низшія (средняя высота 2000—3000 метровъ).

6. Слоисто-кучевыя (Strato-Cumulus); на средней высотѣ 2500 метровъ.	7. Дождевыя (Nimbus); на высотѣ 1500 метровъ.

D) Облака восходящихъ токовъ.

8. Кучевыя (Cumulus); на высотѣ 1500 метровъ.
9. Грозовыя (Cumulo-Nimbus), основаніе на высотѣ 1400 метровъ, вершина отъ 3000 до 5000 метровъ.

E) Поднятый туманъ.

11. Слоистыя (Stratus); ниже 1000 метровъ.

---

[1]) Atlas international des nuages. Paris.

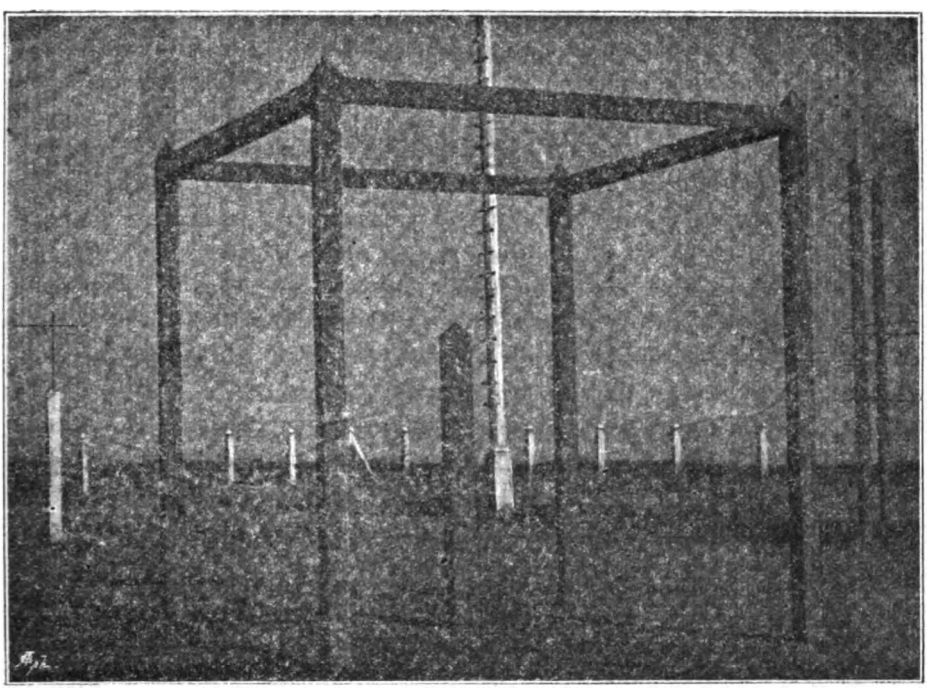
[2]) Международный атласъ облаковъ. Приложеніе къ Инструкціи Главной Физической обсерваторіи. Спб. 1898.

Digitized by Google

Элементами, характеризующими облако въ каждомъ данномъ случаѣ, слѣдуетъ считать: высоту, мощность, направленіе и скорость движенія.

Принципъ опредѣленія высоты облаковъ изложенъ выше (стран. 107). Принципъ этотъ подробно развитъ въ книгѣ Корре [1]). Если произвести рядъ послѣдовательныхъ измѣреній, то можно вычислить направленіе и абсолютную скорость движенія облаковъ. Въ послѣднее время стали примѣнять, вмѣсто непосредственныхъ визированій, одновременное фотографированіе облака съ конечныхъ пунктовъ базиса. Приборы эти называются *фотограмметрами*. Рядъ послѣдовательныхъ снимковъ даетъ матеріалъ для опредѣленія направленія и абсолютной скорости облака. Существуютъ также и болѣе простые приборы для опредѣленія направленія и угловой скорости движенія облака (нефоскопы)

Для опредѣленія направленія движенія облака, въ первомъ приближеніи, можетъ служить сѣтка (фиг. 184), укрѣплен-



Фиг. 184.

[1]) Carl Koppe. Photogrammetrie und Internationale Wolkenmessung. Braunschweig. 1896.

Digitized by Google

ная на небольшой высотѣ надъ поверхностью земли. Нити этой сѣтки оріентированы по главнымъ странамъ свѣта. Наблюдатель становится подъ сѣткой и, удерживая голову неподвижно, непосредственно отмѣчаетъ направленіе движенія облака относительно странъ свѣта. Въ метеорологическихъ журналахъ отмѣчаютъ обыкновенно ту точку горизонта, *отъ которой* движутся облака.

Весьма удобный нефоскопъ Финемана описанъ въ «Инструкціи Главной Физической обсерваторіи». Особеннаго вниманія заслуживаютъ приборы Поморцева для опредѣленія угловыхъ скоростей движенія облаковъ [1]). Вообще, изученіе высоты и, особенно, направленія и скорости движенія облаковъ пріобрѣло огромное значеніе въ наукѣ, такъ какъ полученныя этимъ путемъ числа даютъ возможность судить о направленіи и скорости воздушныхъ теченій въ различныхъ ярусахъ атмосферы. Мало того, если подобныя наблюденія производятся *одновременно* на всей, или по крайней мѣрѣ на значительной части земной поверхности, то они даютъ возможность возсоздать общую схему циркуляціи нашей атмосферы. Такая общая схема циркуляціи, составленная, именно, на основаніи наблюденій надъ движеніемъ облаковъ, еще недавно обнародована Hildebrandsson'омъ [2]). Мы къ ней вернемся въ соотвѣтственныхъ частяхъ этого курса.

Особенное вниманіе на изученіе облаковъ было обращено въ послѣднее время. Изученіе ихъ сдѣлалось международнымъ предпріятіемъ. Съ мая 1896 по сентябрь 1897 года, на многихъ станціяхъ земного шара были произведены систематическія наблюденія надъ облаками (облачный годъ). Приведемъ здѣсь кратко *общіе* результаты, полученные до сихъ поръ относительно высоты и скорости движенія облаковъ.

Cirri держатся во всѣхъ климатахъ на высотѣ 7—11 километровъ [3]). Ниже, а именно между 6.5—9.0 километрами, пла-

---

[1]) a) Поморцевъ. Опредѣленіе направленія и угловыхъ скоростей движенія облаковъ. Спб. 1893. b) Appareils du colonel Pomortzev pour la détermination du direction et de la vitesse du mouvements des nuages et des ballons. Paris.

[2]) Hildebrandsson. Rapport sur les observations des nuages. Upsala. 1903.

[3]) Таинственныя серебристыя облака находятся на высотѣ до 80 и болѣе километровъ, а по Mohn'у до 100 километровъ.

Digitized by Google

ваютъ Cirro-Strati. Въ отдѣльныхъ случаяхъ наблюдали Cirri на высотѣ до 15 и даже 18 километровъ (Манилла).

Cirro-Cumuli занимаютъ довольно постоянную высоту отъ 7 до 8 километровъ. Большія колебанія по высотѣ испытываютъ Alto-Cumuli:

въ Упсалѣ между 2700 и 5200 метровъ,
на Blue Hill » 3200 » 6400 » .

Strato-Cumuli довольно постоянны между 2 и 3 километрами.

Вообще, въ отдѣльныхъ случаяхъ, высота облаковъ колеблется въ большихъ предѣлахъ. Слѣдующая таблица даетъ предѣлы этихъ колебаній для двоякаго рода облаковъ (въ метрахъ):

	Упсала	Голубая гора	Боссекопъ	Павловскъ
Ci	13400—5000	14000—5400	11720—5560	11700—4700
Cu вершина	3600— 900	— 1500	2930— 240	5700— 820
Cu основаніе	2100— 700	3000— 600	2120— 200	2600— 700

Нижнее основаніе Cumuli (1.4—1.8 километровъ) соотвѣтствуетъ той высотѣ, на которой начинается конденсація въ восходящемъ токѣ.

Облака неодинаково часто образуются въ различныхъ пластахъ атмосферы, какъ это видно изъ наблюденій въ Вашингтонѣ въ 1896—97 годахъ:

средняя высота (въ метрахъ)	600	2000	3600	5200	6800	8400	10000	11600	13200
повторяемость въ % . . .	4.0	21.8	11.5	8.0	7.6	12.8	18.9	10.0	5.4.

Наибольшее число случаевъ образованія облаковъ отмѣчено въ поясѣ кучевыхъ облаковъ (2000 м.); затѣмъ, образованіе замедляется и достигаетъ второго максимума въ ярусѣ Cirri (10000 м.).

Облака плаваютъ лѣтомъ выше, а зимою ниже, какъ это видно изъ наблюденій въ Соединенныхъ Штатахъ:

	Ci	Ci-S	Ci-Cu	A-Cu	Cu(верш.)	Cu(основ.)
лѣто .	10385	10620	8826	5030	1819	1182
зима .	9511	9526	7413	3822	1694	1198.

Digitized by Google

Высота нижнихъ облаковъ (Cumuli) имѣетъ суточный періодъ; напримѣръ, въ Упсалѣ:

основаніе Cumuli между 8—9 ч. а. наход. на высотѣ 1360 м.
» » » 1—2 ч. р. » » » 2070 »
» » въ 5 ч. р. » » » 1760 ».

Что касается мощности облаковъ, то она можетъ быть весьма значительна. Еще Барральль и Биксіо, во время поднятія 27 іюля 1850 г., прошли слой облака изъ переохлажденныхъ паровъ толщиной въ 5 кил. 11 мая 1894 г. аэронавты прошли на высотѣ 1750—5000 м. слой снѣговыхъ облаковъ, отъ 5000 до 5700 м —облако изъ кристалловъ льда; на высотѣ 5700—7750 м. они встрѣтили тончайшую ледяную пыль. Такимъ образомъ мощность всего пройденнаго облака достигла 6 кил. Ley приводитъ случай, гдѣ грозовое облако имѣло мощность 9700 метровъ.

Claydon пытался найти зависимость между характеромъ дождя и мощностью облака. Онъ нашелъ, что если мощность облака меньше 600 метровъ, то такое облако рѣдко даетъ дождь. Если толщина облака равна 600—1200 м., то величина капель дождя средняя. Если мощность облака больше 1200 м., то величина капель дождя еще больше, а температура ихъ ниже. Если толщина достигаетъ 3100 м., то падаетъ градъ. Скорость движенія облаковъ зависитъ отъ скорости движенія верхнихъ слоевъ атмосферы, а потому скорость движенія облака опредѣлитъ и скорость воздушныхъ теченій въ томъ ярусѣ, гдѣ оно находится. Слѣдующія двѣ таблицы даютъ среднюю скорость облаковъ на разныхъ высотахъ. Скорость выражена въ метрахъ въ секунду:

средняя высота въ м.	1250	3000	5000	7000	9000	10—12000	12—14000
Упсала	9.1	8.7	16.0	20.4	26.6	—	—
Голубая гора средн.	9.8	14.2	17.1	34.3	34.2	33.0	—
» » лѣтомъ.	8.5	11.7	13.9	19.0	29.8	32.8	—
» » зимой .	11.3	17.9	26.3	31.0	41.8	51.4	—
Манилла.	5.5	7.1	6.5	8.0	13.6	13.0	13.4
Боссекопъ.	6.5	7.3	12.5	15.4	19.0	24.4	—
Toronto.	9.4	17.1	18.4	32.0	30.8	28.8	—

Соединенные Штаты

сред. высота	600	2000	3000	5200	6800	8400	10000	11600	13200
скорость	6.7	10.6	14.6	17.3	20.3	25.6	27.0	30.8	26.8.

Digitized by Google

Изъ приведенныхъ наблюденій видно, что скорость движенія облаковъ, а слѣдовательно, и скорость воздушныхъ теченій, съ высотою постепенно возрастаетъ. Такъ, въ Боссекопѣ (70° с. ш.) на высотѣ 11000 м. скорость равна 24.4 м. въ секунду, т. е. скорости сильной бури. Зимою скорость движенія больше, лѣтомъ меньше.

Слѣдующая таблица даетъ максимальныя скорости для различнаго рода облаковъ лѣтомъ и зимой. Онѣ превосходятъ, въ отдѣльныхъ случаяхъ, скорости сильнѣйшихъ тропическихъ штормовъ:

	Ci	Ci-S	A-Cu	Cu
лѣтомъ . . .	68	62	33	27
зимой . . .	103	81	21	37.

Облачность; нефоскопы. Остановимся еще на факторѣ, имѣющемъ, преимущественно, климатическое значеніе, а именно, на степени *облачности*. Степень облачности опредѣляется, по субъективной оцѣнкѣ наблюдателя, отмѣтками отъ 0 до 10:

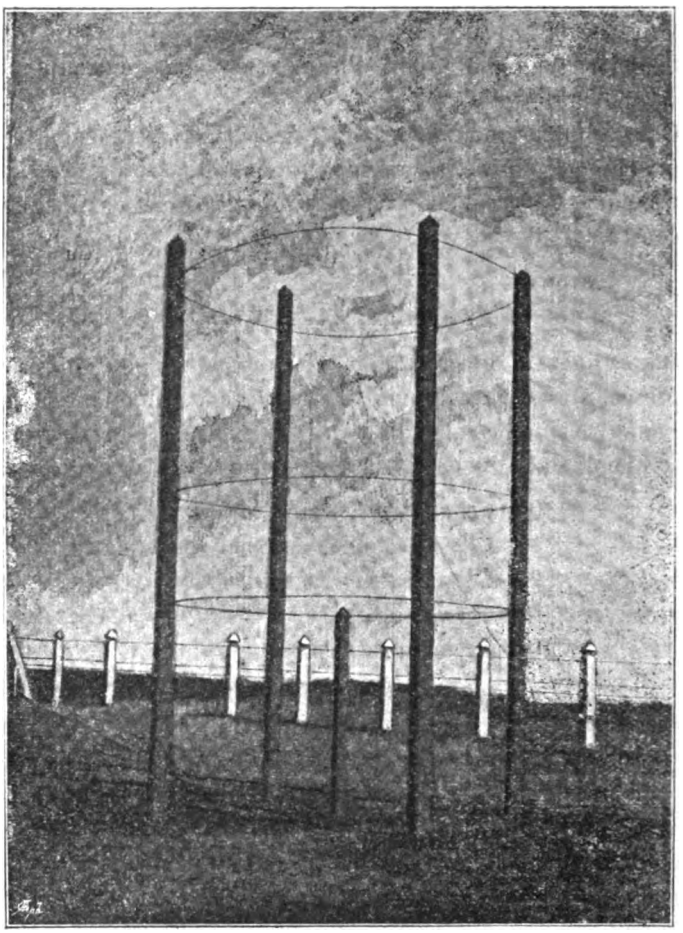
0—совершенно ясное небо,
1—0.1 часть неба закрыта облаками,
2—0.2 части » закрыты »
и т. д.
10—все небо закрыто » .

Въ послѣднее время, для опредѣленія облачности, фирма братьевъ Ришаръ въ Парижѣ изготовляетъ особый нефоскопъ Besson'a, который состоитъ изъ выпуклаго зеркала, раздѣленнаго на части. Въ зеркалѣ видно отраженное изображеніе небеснаго свода и весьма легко, довольно точно, оцѣнить степень облачности. Иногда облачность опредѣляютъ въ различныхъ поясахъ небеснаго свода: отъ горизонта до высоты 30°, отъ 30° до 60°, отъ 60° до зенита. Для этой цѣли, въ нашей обсерваторіи имѣется особое приспособленіе (фиг. 185). На четырехъ столбахъ укрѣплены, въ извѣстныхъ разстояніяхъ, три металлическіе круга, плоскости которыхъ параллельны горизонту. Для глаза, помѣщеннаго вблизи вершины внутренняго столба, поставленнаго по линіи центровъ этихъ круговъ, небесный сводъ дѣлится на требуемыя зоны. Остается произвести оцѣнку облачности въ каждой зонѣ отдѣльно.

Разработка подобныхъ наблюденій показываетъ, что въ ходѣ облачности существуютъ суточные и годовые періоды, ко-

Digitized by Google

торые легко объясняются законами образованія облаковъ. Въ Одессѣ, напримѣръ, годовой ходъ облачности слѣдующій:



Фиг. 185.

январь	7.6	іюль.	3.8
февраль. . . .	7.1	августъ . . .	3.2
мартъ	6.9	сентябрь . . .	3.7
апрѣль. . . .	5.5	октябрь . . .	5.4
май	4.7	ноябрь. . . .	7.3
іюнь.	4.5	декабрь . . .	7.2
	годъ . . .	5.6.	

Digitized by Google

Облачность, вообще, неодинаково распредѣлена на земной поверхности. Teisserenc de Bort сдѣлалъ попытку составить карту *изонефъ*, т. е. линій одинаковой облачности [1]). Такую же карту составилъ Шенрокъ для Россіи [2]). Изъ картъ Teisserenc de Bort'a видно, что, въ болѣе высокихъ широтахъ (45°—70° с. ш.), наибольшая облачность наблюдается надъ морями и на западныхъ берегахъ материковъ; далѣе, она уменьшается и достигаетъ минимума около 10°—30° с. широты; затѣмъ опять увеличивается къ экватору. Но особенно мала облачность въ поясѣ пустынь и среди материковъ. Экваторіальное облачное кольцо является слѣдствіемъ сильныхъ восходящихъ токовъ въ области термическаго экватора. Минимумъ около 30° с. широты обусловливается нисходящими токами на границѣ тропическихъ областей. Въ высокихъ широтахъ, облака менѣе плотны и сосредоточиваются въ болѣе низкихъ слояхъ атмосферы. Въ Россіи, въ зимніе мѣсяцы, наибольшая облачность замѣчается въ области Бѣлаго и Балтійскаго морей (8), наименьшая — на сѣверо-востокѣ Азіи (2). Лѣтомъ максимумъ на Новой Землѣ (7.5), а минимумъ въ западномъ Туркестанѣ (1). Вообще, распредѣленіе облачности, какъ и осадковъ, находится въ тѣсной зависимости отъ общей циркуляціи атмосферы.

Arrhenius вычислилъ, на основаніи картъ Teisserenc de Bort'a, среднюю облачность по параллелямъ по 100-балльной шкалѣ:

широта	суша	море	среднее
70°—60° с.	58	66	60
60—50 »	56	68	62
50—40 »	46	63	55
40—30 »	36	52	46
30—20 »	29	47	41

[1]) Annales du bureau météorologique central de France, 1884 Paris.

[2]) Шенрокъ. Облачность въ Россійской Имперіи. Спб. 1895. См. также «Климатическій атласъ, изданный Главной Физической обсерваторіей» въ 1899 году; распредѣленіе же облачности на юго-западѣ Россіи можно найти въ «Atlas de l'Observatoire météorologique et magnétique de l'université Imperial à Odessa. Text et XIX planches. Odessa 1900».

Digitized by Google

широта	суша	море	среднее
20°—10° с.	28	47	42
10— 0 »	50	57	55
0—10 ю.	55	60	58
10—20 »	48	54	53
20—30 »	30	50	45
30—40 »	39	51	49
40—50 »	62	61	62
50—60 »	71	72	72.

Облачное кольцо, въ среднемъ годовомъ, расположено, какъ видно, между 0° и 10° ю. ш.

Дождемѣры и дождеграфы. Количество осадковъ измѣряется толщиною выпавшаго слоя воды, выраженнаго въ миллиметрахъ. Для опредѣленія этого количества служатъ дождемѣры. Обыкновенный дождемѣръ на столько простъ, что едва ли слѣдуетъ останавливаться на его устройствѣ и употребленіи [1]). Скажемъ только нѣсколько словъ о градуированіи его измѣрительнаго стакана. Отверстіе дождемѣровъ, примѣняемыхъ на русскихъ станціяхъ, равно 500 квадратнымъ сантиметр. Положимъ, что выпалъ слой дождя высотою въ 1 миллиметръ. Опредѣлимъ объемъ этой воды. Очевидно, что объемъ этой цилиндрической пластинки выпавшей воды будетъ равняться 50 куб. сант. Если, поэтому, при помощи пипетки, возьмемъ 50 куб. сантиметровъ воды и нальемъ ее въ стеклянный цилиндръ, то объемъ, занятый этой водой, будетъ соотвѣтствовать слою осадковъ въ 1 мм. толщиною. На наружной стѣнкѣ стекляннаго цилиндра, около поверхности воды, поставимъ дѣленіе 1. Вливая еще 50 куб. сант. воды, мы найдемъ дѣленіе 2 и т. д. Такимъ образомъ, цилиндръ раздѣлится на части, соотвѣтствующія 1, 2, 3 и болѣе миллиметрамъ выпадающей воды. Если каждое дѣленіе раздѣлимъ на 10 равныхъ частей, то получимъ возможность оцѣнивать десятыя доли миллиметра.

Количество снѣга опредѣляютъ также толщиной слоя воды, которая получается послѣ таянія снѣга. Кромѣ того, на рус-

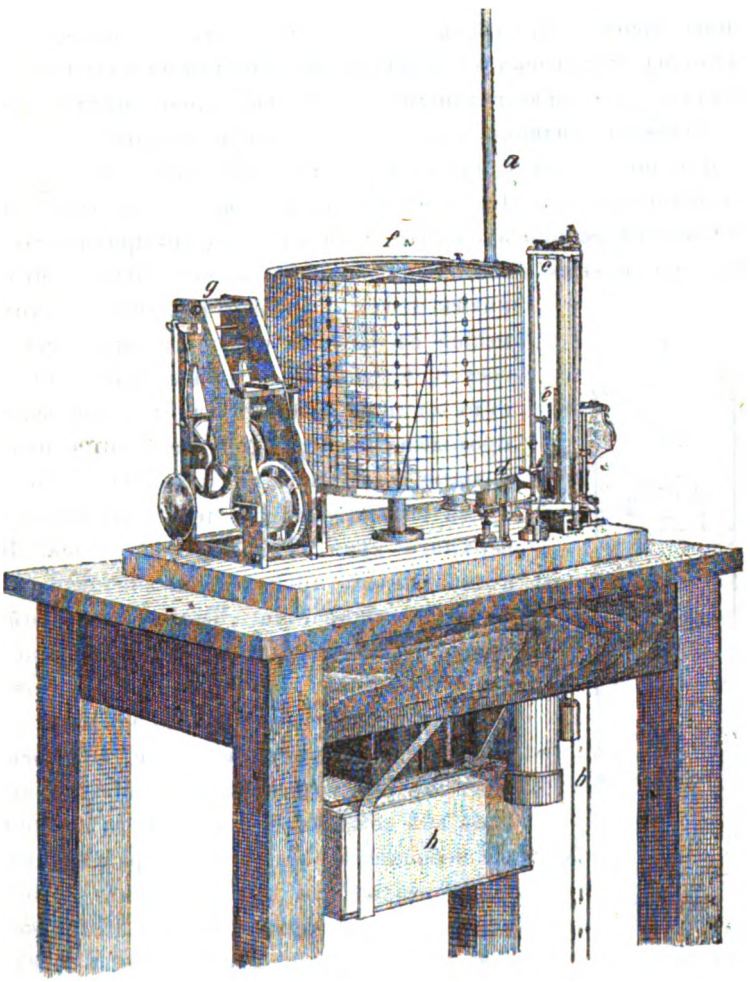
[1]) См. Инструкцію Главной Физической обсерваторіи.

Digitized by Google

скихъ метеорологическихъ станціяхъ измѣряютъ еще толщину снѣгового покрова, помощью рейки, а также плотность снѣга, т. е. отношеніе его вѣса къ объему.

Существуютъ еще самопишущіе дождемѣры или плювіографы. Слѣдуетъ упомянуть о двухъ главныхъ типахъ дождеграфовъ, функціонирующихъ въ метеорологической обсерваторіи Новороссійскаго университета.

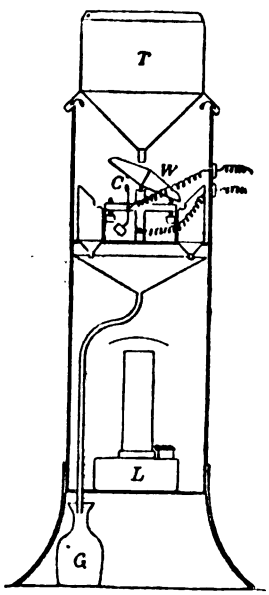
Дождеграфъ Тимченко (фиг. 186) устроенъ на принципѣ



Фиг. 186.

Digitized by Google

дождемѣра съ поплавкомъ. Пріемная часть дождемѣра помѣщается на верхней площадкѣ обсерваторіи. Отъ пріемника проведена трубка въ залъ, къ пишущей части. Атмосферная вода стекаетъ по трубкѣ и поступаетъ въ цилиндрическій сосудъ b, находящійся подъ доской стола, на которомъ укрѣпленъ барабанъ прибора. Въ сосудѣ этомъ находится поплавокъ, къ которому прикрѣпленъ деревянный вертикальный стержень dc, снабженный перомъ d. Перо d упирается въ бумажную ленту, навернутую на барабанъ f, вращающійся около вертикальной оси помощью часового механизма g. Бумажная лента, навернутая на барабанъ, раздѣлена вертикальными линіями на получасовые промежутки, а горизонтальными на десятыя доли миллиметра. При выпаденіи осадковъ, вода стекаетъ въ цилиндръ b, вслѣдствіе чего поплавокъ всплываетъ и перо d чертитъ на бумагѣ восходящую кривую. По истеченіи часа, замыкается токъ, намагничивается вспомогательный магнитъ, который притягиваетъ якорь и отпускаетъ нѣкоторый добавочный механизмъ. Механизмъ этотъ открываетъ клапанъ, находящійся въ нижней части цилиндрическаго сосуда b, вода быстро вытекаетъ въ сосудъ h и перо падаетъ внизъ. Если осадки продолжаются, то перо начинаетъ опять подниматься. Можетъ случиться, что, во время сильнаго дождя, перо подымется до верхняго края бумаги раньше часа. Въ этомъ случаѣ происходитъ контактъ у c, и вода выливается. Такимъ образомъ, приборъ Тимченко отмѣчаетъ начало и конецъ осадковъ, общее количество дождя и способъ его выпаденія во времени.

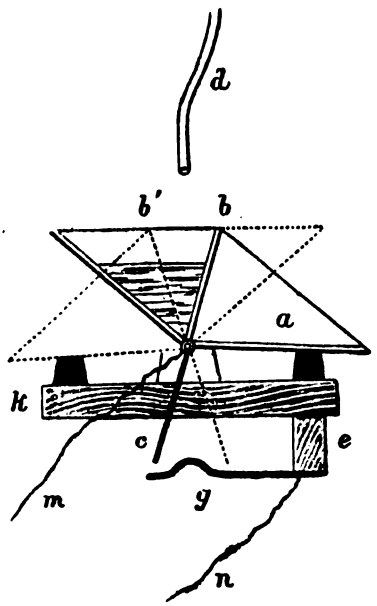


Фиг. 187.

Другой дождеграфъ (фиг. 187) основанъ на принципѣ качающейся лодочки. Вода изъ дождемѣра стекаетъ по трубочкѣ въ небольшую лодочку W, раздѣленную перегородкой на двѣ камеры; лодочка укрѣплена на горизонтальной оси, около которой можетъ качаться. Вода изъ дождемѣра стекаетъ прежде въ правую половину лодочки; когда выпадетъ извѣстная, такъ сказать, порція, напримѣръ, 0.1 мм., осадковъ, то равновѣсіе

Digitized by Google

нарушается и лодочка опрокидывается; подъ трубку дождемѣра подходитъ лѣвая ея половина; при выпаденіи новаго количества осадковъ въ 0.1 мм., опять нарушается равновѣсіе и т. д. Такимъ образомъ, во время дождя, лодочка постоянно качается; каждое опрокидываніе соотвѣтствуетъ слою выпадающей воды въ 0.1 мм. Во время каждаго опрокидыванія лодочки, происходитъ контактъ и на бумагѣ ставится точка или чертится непрерывная кривая, смотря по конструкціи прибора. Опрокидывающаяся лодочка отчетливѣе видна на фигурѣ 188.



Фиг. 188.

Географическое распредѣленіе осадковъ. Географическое распредѣленіе осадковъ на земной поверхности есть функція общей циркуляціи атмосферы, взаимнаго распредѣленія суши и моря, орографіи нашей планеты и распредѣленія тепла. Изъ сочетанія этихъ факторовъ можно a priori составить общую схему распредѣленія осадковъ на земной поверхности. Въ тѣхъ областяхъ, гдѣ происходятъ сильныя восходящія теченія очень влажнаго воздуха, количество осадковъ должно достигать максимума. Такіе восходящіе токи имѣютъ мѣсто въ области термическаго экватора, а также вдоль горныхъ склоновъ, лежащихъ на пути господствующихъ вѣтровъ, дующихъ съ теплыхъ морей. Такъ какъ пары сосредоточены, главнымъ образомъ, въ нижнихъ слояхъ земной атмосферы, то даже невысокая цѣпь горъ можетъ уже задержать значительное количество паровъ. Кромѣ того, восходящія теченія возможны, какъ это показалъ Köppen, при вступленіи влажнаго теченія вообще на материкъ. Дѣйствительно, массы воздуха, вступая на берегъ, встрѣчаютъ сопротивленіе со стороны неровностей почвы. Движеніе его внизу замедляется, а потому, вступающій столбъ воздуха долженъ, такъ сказать, вытягиваться въ вертикальномъ направленіи, т. е.

Digitized by Google

вызвать восходящіе токи, а слѣдовательно, конденсацію паровъ. На основаніи сказаннаго, мы вправѣ ожидать значительныхъ осадковъ въ области термическаго экватора, а также, въ сѣверномъ полушаріи, вдоль западныхъ береговъ Стараго и Новаго свѣта; осадки обильны у южныхъ, юго-восточныхъ и восточныхъ береговъ Азіи и Зондскихъ острововъ, во время господства лѣтняго муссона, и у соотвѣтствующихъ береговъ Сѣверной Америки въ лѣтніе мѣсяцы. Осадки должны падать до минимума въ области нисходящихъ токовъ, а также, въ частяхъ материковъ, лежащихъ далеко вглубь континентовъ по отношенію къ водоноснымъ вѣтрамъ. На этомъ основаніи, можно думать, что по обѣ стороны дождевого экватора количество осадковъ постепенно и довольно быстро убываетъ до границъ тропическаго пояса; здѣсь, на океанѣ, должна существовать область, наименѣе орошенная, а на сушѣ—возможенъ даже рядъ пустынь. Вообще, кольцо слабыхъ осадковъ должно опоясывать земной шаръ, приближаясь или удаляясь отъ экватора, въ зависимости отъ орографическихъ условій и перемѣщенія кольца высокихъ давленій динамическаго происхожденія. Далѣе, къ сѣверу, количество осадковъ должно опять увеличиваться; при этомъ, можно предполагать, что количество ихъ въ умѣренномъ поясѣ Стараго свѣта уменьшается отъ запада къ востоку и на крайнемъ востокѣ опять увеличивается въ области юго-восточнаго муссона. Въ Сѣверной Америкѣ мы вправѣ ожидать, въ средней части материка, сухую полосу, окаймленную, какъ съ востока такъ и съ запада, болѣе орошенной страной. Арктическій поясъ долженъ быть мало орошенъ, такъ какъ низкая температура препятствуетъ атмосферѣ принять значительный запасъ влаги. Таковы апріорныя соображенія относительно вѣроятнаго средняго распредѣленія осадковъ на земной поверхности.

Составленная выше вѣроятная схема распредѣленія осадковъ вполнѣ подтверждается наблюденіями, какъ это видно изъ карты *изогіетъ*, составленной Supan'омъ (таблица IX). Ограничимся лишь двумя-тремя сравненіями. Наибольшее количество осадковъ (выше 2000 мм.) наблюдается въ области термическаго экватора и восходящихъ токовъ. Къ границамъ тропическаго пояса количество осадковъ, дѣйствительно, быстро уменьшается и зона наименьшаго орошенія совпадаетъ съ поясомъ пустынь Стараго свѣта. Западные берега Стараго свѣта орошены богаче

Digitized by Google

восточныхъ. Такія же апріорныя соображенія можно составить и относительно осадковъ южнаго полушарія. Детали этого общаго распредѣленія слѣдуетъ искать въ курсахъ климатологіи.

Для характеристики возможнаго *максимальнаго* годового количества осадковъ приведемъ нѣсколько чиселъ [1]):

Европа.	Domsten, Норвегія. . . .	1950 мм.
	Bergen, »	1850 »
	Glencoe, Шотландія . . .	3240 »
	Ben Nevis, » . . .	3800 »
	Styehead Pass, Англія . .	4310 »
	Crkvice, Далмація. . . .	4360 »
Америка.	Sitka, Аляска	2070 »
	Gregtown, Никарагуа . .	6580 »
Африка.	Sierra Leone, зап. берегъ .	4300 »
	Kamerum.	4160 »
Азія. Область муссоновъ.	Mahabaleshwar.	6830 »
	Baura	6390 » .

Въ Cherrapunji [2]) (въ провинціи Assam въ Индіи) среднее годовое количество осадковъ (1895—1903) составляетъ 11223 мм.; на станціи Debundscha, у западнаго подножья Камерумскаго Пика (1895—1903),—10454 мм. Наибольшее годовое количество воды выпало:

въ Cherrapunji . . . въ 1851 году, а именно 14789 мм.
» Debundscha . . . » 1902 » , » » 14133 » .

Годовое количество осадковъ различнымъ образомъ распредѣляется по временамъ года, соотвѣтственно географическимъ условіямъ. Существуютъ слѣдующіе главные типы годового распредѣленія осадковъ.

Въ *экваторіальной* зонѣ постоянно происходятъ сильные восходящіе токи; они достигаютъ наибольшей силы тогда, когда солнце находится въ зенитѣ или вблизи зенита, что бываетъ, въ каждой точкѣ экватора, два раза въ годъ. Въ виду этого, въ экваторіальной зонѣ существуетъ два максимума усиленія осадковъ, послѣ времени равноденствій. Эта область двой-

[1]) Hann. Lehrbuch der Meteorologie. Wien. 1901. S. 358.

[2]) Bulletin de la société astronomique de France, mars 1906, p. 149.

Digitized by Google

ного максимума обнимаетъ приблизительно поясъ отъ 10° с. ш. до 10° ю. ш.

Тропическія области расположены вплоть до тропиковъ и даже нѣсколько дальше; въ этихъ областяхъ солнце бываетъ, въ теченіе года, одинъ разъ въ зенитѣ или вблизи зенита. Къ этому времени усиливаются дожди и даютъ одинъ максимумъ въ годъ.

Область муссоновъ. Большія области суши въ лѣтнее время сильно нагрѣваются и даютъ импульсъ для интенсивныхъ восходящихъ токовъ. Въ тѣхъ частяхъ, которыя лежатъ на пути вѣтровъ, идущихъ съ теплаго моря, должны происходить обильные осадки. Интенсивность осадковъ увеличивается, если на пути подобнаго водоноснаго вѣтра расположены горные хребты. Очевидно, что осадки въ подобныхъ областяхъ должны имѣть сезонный характеръ и чередоваться съ болѣе сухимъ временемъ года. Таковы осадки, выпадающіе въ Индіи, Индо-Китаѣ, на Зондскихъ островахъ и вдоль восточныхъ береговъ Азіи.

Въ *умѣренномъ* поясѣ, восходящіе токи имѣютъ мѣсто въ господствующихъ здѣсь циклоническихъ движеніяхъ; эти циклоны являются результатомъ общей циркуляціи или слѣдствіемъ сильныхъ мѣстныхъ нагрѣваній. Большіе атмосферическіе вихри наиболѣе часты зимою; чаще всего они изливаютъ свои осадки надъ океаномъ и берегами; надъ континентами же умѣреннаго пояса преобладаютъ *лѣтніе* осадки. Выпадаютъ они въ мѣсяцы наиболѣе высокаго стоянія солнца. Вообще, надъ континентами, осадки почти вездѣ, отъ экватора до высокихъ широтъ, слѣдуютъ за солнцемъ. Надъ океанами и берегами умѣреннаго пояса преобладаютъ зимніе осадки.

Субтропическій поясъ зимнихъ дождей лежитъ между 28°—40° с. ш. широты и расположенъ въ западныхъ частяхъ континентовъ; на восточныхъ берегахъ въ этихъ широтахъ преобладаютъ муссонные осадки. Мы знаемъ, что восходящій экваторіальный токъ, поднявшись на экваторѣ, направляется въ болѣе высокія широты. На границѣ тропическаго пояса, онъ опускается, образуя нисходящій токъ и кольцо высокихъ давленій, которое почти неразрывно опоясываетъ земной шаръ; особенно явственна часть этого кольца надъ океанами; части кольца высокихъ давленій, лежащія надъ сушей, ослабляются и компенсируются, въ лѣтніе мѣсяцы, противодѣйствующимъ имъ

Digitized by Google

расширеніемъ воздуха и восходящимъ токомъ вслѣдствіе нагрѣванія. Во всей своей полнотѣ кольцо это проявляется въ зимніе мѣсяцы: въ это время континентальная часть кольца усиливается сильными зимними охлажденіями и, слѣдовательно, висходящими токами. Въ области этого динамическаго кольца высокихъ давленій осадки слабы, ибо воздухъ, опускаясь, удаляется отъ точки насыщенія. Но къ зимѣ, это кольцо отходитъ къ экватору (такъ какъ оно перемѣщается всегда за движеніемъ солнца), и промежуточная область между тропической зоной и умѣреннымъ поясомъ представляетъ арену сильнѣйшей вихревой дѣятельности съ неизбѣжнымъ ея спутникомъ — дождями. Зимніе дожди субтропической зоны ограничиваются вообще берегами. Только благодаря тому, что Средиземное море глубоко врѣзывается въ сушу, область зимнихъ дождей можно прослѣдить до передней Азіи. Въ другихъ мѣстахъ (на западныхъ берегахъ Америки, южной Африки и Австраліи) зона зимнихъ дождей имѣетъ очень малое развитіе. У восточныхъ береговъ материковъ, въ этихъ широтахъ, субтропическій характеръ осадковъ вытѣсняется муссоннымъ. Вліяніе горъ, стоящихъ на пути водоносныхъ вѣтровъ, было уже нѣсколько разъ указано.

Для иллюстраціи годового распредѣленія осадковъ приводимъ слѣдующую таблицу, показывающую время наступленія максимума осадковъ [1]).

Южная Африка	подъ	6°	ю. ш.—апрѣль и ноябрь,
Quito	»		экваторомъ—апрѣль и ноябрь,
Sao Paolo	»	23°.5	ю. ш.—январь,
Mexico	»	19.4	с. ш.—августъ,
P. Darwin	»	13.5	ю. ш.—январь,
Зап. Австралія	»	32.3	ю. ш.—іюнь,
Мальта	»	38.0	с. ш.—декабрь и январь,
С. Альпы	около	50.0	с. ш.—іюль,
С. Азія	»	55.0	с. ш.—іюль,
берегъ Атл. ок. въ Сѣверн. Америкѣ	»	40.0	с. ш.—іюль и октябрь,
СЗ Европа	»	60.0	с. ш.—октябрь.

[1]) Hann. Lehrbuch der Meteorologie, 1905. S 260.

Digitized by Google

О распредѣленіи осадковъ въ Россіи можно судить на основаніи работъ, изданныхъ Главной Физической Обсерваторіей. Если мы на картѣ проведемъ линію отъ устья Днѣстра, черезъ Николаевъ и Лугань, къ Саратову, Самарѣ и Оренбургу, то вдоль этой линіи расположена полоса Европейской Россіи, получающая около 400 мм. въ годъ. Къ сѣверо-западу отъ этой полосы годовое количество осадковъ возрастаетъ; по линіи, проходящей черезъ сѣверную часть Бессарабіи, южную часть Подольской губерніи, губерніи Тульскую, Рязанскую, Владимірскую, Петербургскую и юго-западную часть Финляндіи, годовое количество осадковъ достигаетъ 500 миллим.; губерніи, лежащія къ западу отъ указанной только что линіи, имѣютъ количество осадковъ отъ 500 до 600 мм. въ годъ; вся остальная Россія, восточнѣе этой линіи и сѣвернѣе прежде указанной степной полосы, получаетъ изъ атмосферы около 400—450 мм. воды. Количество это на Уралѣ, между Уфой и Златоустомъ, увеличивается до 500 мм. На крайнемъ сѣверѣ замѣтно опять нѣкоторое уменьшеніе (Архангельскъ—391.7 мм., Кемь—381.8 мм.). Къ юго-востоку отъ степной полосы, видимъ двѣ, рѣзко отличныя по орошенію, мѣстности; къ Кавказу, особенно западному, количество осадковъ быстро возрастаетъ и на восточныхъ побережьяхъ Чернаго моря достигаетъ 1500 и даже 2000 мм. (Поти—1669.7 мм., Даховскій Постъ 2052.7 мм.). Къ Каспійскому же морю и средней Азіи годовая сумма осадковъ столь же быстро убываетъ:

Астрахань	185.8 мм.
Баку	248.4 »
Фортъ Александровскій . .	127.7 »
Иргизъ	159.3 »

Херсонская губернія, по общему годовому приходу воды, находится, за исключеніемъ, конечно, юго-востока Россіи и средне-азіатскихъ владѣній, въ условіяхъ не вполнѣ благопріятныхъ; она получаетъ меньше атмосферныхъ осадковъ, чѣмъ западная полоса и нѣкоторыя центральныя губерніи Россіи.

Въ ближайшихъ къ намъ провинціяхъ Австріи и Германіи выпадаетъ въ годъ отъ 600 до 700 мм.; вообще западная Европа находится въ полосѣ, получающей отъ 600 до 1000 мм.

Digitized by Google

въ годъ; Пиренеи, Швейцарія и побережье Адріатическаго моря имѣютъ даже отъ 1000 до 1500 мм. Конечно, нечего и сравнивать наши осадки съ тѣми, которые выпадаютъ въ наиболѣе орошенныхъ частяхъ земного шара, какъ напр., въ экваторіальной полосѣ сѣверной Африки и южной Америки, а также въ Индіи. Особенно замѣчательна въ этомъ отношеніи Индія; мы уже видѣли, что въ нѣкоторыхъ пунктахъ Индіи выпадаетъ въ годъ слой воды толщиною отъ 3 до 6 метровъ, а въ Черрапонжи годовое количество воды достигаетъ 11223 мм. ($11^1/_8$ метра, болѣе 5.5 сажени).

Вся почти Европейская Россія находится въ поясѣ преобладанія лѣтнихъ дождей; максимумъ осадковъ слегка перемѣщается только отъ одного мѣсяца къ другому; такъ, въ сѣверныхъ губерніяхъ наибольшее количество дождей въ августѣ, на югѣ—въ іюнѣ; въ остальной Россіи—въ іюлѣ; на югѣ замѣчается также и второй максимумъ въ ноябрѣ; на Кавказѣ, въ центральной его части—въ маѣ, а въ западной и южной—осенью и зимой; по берегамъ средней части Балтійскаго моря—въ началѣ осени. Распредѣленіе осадковъ на югѣ можно видѣть изъ слѣдующихъ чиселъ:

	Одесса	Елисаветградъ
январь	24.6 мм.	16.5 мм.
февраль	23.4 »	16.1 »
мартъ	30.8 »	21.9 »
апрѣль	27.0 »	28.8 »
май	34.8 »	54.0 »
іюнь	58.6 »	52.2 »
іюль	44.1 »	59.1 »
августъ	29.4 »	43.0 »
сентябрь . . .	30.0 »	35.7 »
октябрь	34.6 »	26.3 »
ноябрь	33.5 »	40.5 »
декабрь	33.6 »	31.0 »
годъ	407.3 »	425.1 »

Ливни. Въ практическомъ отношеніи, огромное значеніе имѣетъ вопросъ о количествѣ *суточнаго* выпаденія осадковъ, а

Digitized by Google

также о ливняхъ. Изъ работы Берга [1]) видно, что въ Россіи въ 1893 году наибольшее суточное выпаденіе дождя было слѣдующее (въ миллиметрахъ):

	сумма	среднее въ 1 мин.
Анисовъ, Калужской губ. . . .	120.3	0.69
Юрьевка, Таврической » . . .	106.4	0.59
Кириловскъ, Полтавск. » . . .	100.6	0.30
Байрамча, Бессарабск. » . . .	132.8	0.55
Курскъ	144.1	0.13
Успенское, Тульской губ. . . .	107.8	0.08

Еще болѣе значительное суточное выпаденіе дождя въ другихъ мѣстностяхъ земного шара [2]):

Сисвайтъ, Англія . . .	204 мм.
Нейвизе, Силезія. . . .	345 »
Ф. Кларкъ, Флорида . .	457 »
Гонконгъ	553 »
Клюни, о. св. Маврикія .	610 »
Сама, Японія	747 »
Парнія, Бенгалъ. . . .	879 »
Танабе, Японія	902 »
Черрапонджи	1036 » [3]).

Весьма важное значеніе имѣетъ изслѣдованіе тѣхъ случаевъ, при которыхъ, въ *короткій* промежутокъ времени, выпадаетъ *значительное* количество осадковъ (ливня). Наблюденія нашей метеорологической сѣти дали возможность подробно изслѣдовать ливни на юго-западѣ Россіи [4]). Если распредѣлить ливни юго-запада по ихъ продолжительности, то наибольшее возможное количество осадковъ, выпадающее въ 1 минуту, будетъ слѣдующее:

---

[1]) Бергъ. О ливняхъ и обильныхъ дождяхъ, выпавшихъ въ короткіе промежутки времени въ 1893 году въ Европейской Россіи. Спб. 1895.

[2]) Воейковъ. Метеорологія. Спб. 1903, стр. 385.

[3]) Въ 5 дней сряду выпало 2698 мм.

[4]) Клоссовскій. Ливни на юго-западѣ Россіи въ 1886—1893 г. Метеорологическое Обозрѣніе. 1892. Одесса. Текстъ съ 4 картами.

Digitized by Google

продолжительность ливня	возможное максимальное количество осадковъ
отъ 1 до 5 минутъ	3.0 мм. въ 1 минуту
» 6 » 15 »	2.94 » » » »
» 16 » 30 »	1.50 » » » »
» 31 » 45 »	1.25 » » » »
» 46 » 60 »	0.86 » » » »
» 1 ч. » 2 ч.	0.83 » » » »
» 2 » » 3 »	0.69 » » » »
» 3 » » 6 »	0.55 » » » »

Въ другихъ мѣстностяхъ земного шара возможны ливни, дающіе еще большее количество осадковъ въ 1 минуту:

	всего	въ 1 мин.
въ Арджешѣ, Румынія, выпало . .	205 мм.	10.2
» Ф. Макферъ, С. Америка » . .	38 »	7.6
» Гальвестонъ, » » . .	100 »	7.1.

Изъ наблюденій сѣти юго-запада Россіи видно, что въ трехъ случаяхъ выпало исключительное количество осадковъ: a) с. Петроостровъ, Херсонской губ., 1 октября 1887 года измѣрено 20 мм. въ 8 минутъ (2.5 мм. въ 1 минуту); b) с. Андреевка, Таврической губ., отмѣчено 44 мм. въ 15 минутъ (2.9 мм. въ 1 минуту); c) Коровенцы, Полтавской губ., выпало 56.5 мм. въ 10 минутъ (5.7 мм. въ 1 минуту).

Наблюденія сѣти юго-запада Россіи дали возможность изслѣдовать зависимость ливней отъ общаго состоянія атмосферы. Оказалось, что ливни иногда выпадаютъ спорадически и имѣютъ очень ограниченное распространеніе; въ другихъ случаяхъ, они охватываютъ, болѣе или менѣе, значительныя области. Изъ картъ, составленныхъ въ нашей обсерваторіи, видно, что ливни, подобно грозамъ, градобитіямъ и снѣговымъ метелямъ, тѣсно связаны съ вихревыми движеніями атмосферы. Они являются спутниками слабыхъ лѣтнихъ циклоновъ, а также изливаются на окраинахъ болѣе сильныхъ минимумовъ. Достигаютъ они наибольшей интенсивности въ поясѣ циклона, близкомъ къ периферіи. Въ этомъ же поясѣ наблюдаются, чаще всего, грозы, градобитія и снѣговыя метели. Такимъ образомъ, кольцо грозъ и града въ циклонѣ является, вмѣстѣ съ тѣмъ, и кольцомъ ливней.

Digitized by Google

Еще одинъ вопросъ. Откуда берется то огромное количество воды, которое необходимо для образованія сильнаго ливня? Въ столбѣ воздуха, сѣченіе котораго равно 1 квадр. метру, надъ средней Европой можетъ находиться 34.5 килограмма воды. Если бы эти пары вполнѣ конденсировались, то это дало бы слой толщиной въ 35 мм. Но количество осадковъ можетъ быть гораздо больше. Нужно допустить, что столбъ нашъ питается притокомъ влаги, поступающимъ со всѣхъ сторонъ къ центру восходящаго тока. Если допустить, что въ центрѣ такого вихря существуетъ сильное восходящее теченіе, то образовавшіяся уже капли могутъ долгое время удерживаться въ своемъ паденіи; прибывающая со стороны влага будетъ итти на образованіе новыхъ капель и увеличеніе прежнихъ. Наконецъ, наступаетъ моментъ, когда вся эта масса низвергается, образуя настоящій *ливень*. Но очевидно, что такіе ливни могутъ имѣть только мѣстное и ограниченное распространеніе.

Въ климатологіи различаютъ еще слѣдующіе элементы, характеризующіе распредѣленіе осадковъ: 1) число дней съ осадками; на русскихъ станціяхъ принято считать днемъ съ осадками такой день, въ который измѣрено въ дождемѣрѣ не менѣе 0.1 мм.; 2) количество осадковъ, приходящееся на каждый дождливый день; 3) вѣроятность дождя, т. е. отношеніе числа дней съ осадками, выпавшими въ теченіе извѣстнаго періода, къ общему числу дней того же періода. Эти факторы, какъ узко климатологическіе, оставляемъ безъ разсмотрѣнія и отсылаемъ читателя къ курсамъ климатологіи.

Относительно географическаго распространенія града, въ настоящее время, имѣется весьма мало данныхъ. Въ 1895 году мною разработанъ матеріалъ, собранный Главной Физической Обсерваторіей и метеорологической сѣтью юго-запада Россіи. Результаты напечатаны, въ формѣ текста и карты градобитій въ Россіи, въ трудахъ нашей сѣти [1]). Изъ этой карты видно, что наиболѣе подвержены градобитіямъ нѣкоторыя мѣстности Кавказа, а также полоса, которая тянется черезъ губерніи Волынскую, Подольскую, Кіевскую, Полтавскую и далѣе къ губерніямъ Тамбовской и Саратовской. Это полоса,

[1]) Метеорологическое Обозрѣніе. Труды метеорологической сѣти юго-запада Россіи. Десятилѣтіе. 1886—1895. Одесса. 1896.

Digitized by Google

по которой, преимущественно, направляется нѣкоторая часть европейскихъ циклоновъ. Другой опытъ изученія распредѣленія градобитій въ Россіи принадлежитъ г. Таргонскому. Работа г. Таргонскаго построена на разработкѣ данныхъ, доставленныхъ обществомъ страхованія отъ градобитій.

Снѣговая линія; лавины и глетчеры. Извѣстно, что въ странахъ холодныхъ и обильныхъ твердыми осадками, а также на высокихъ горахъ, выпавшій снѣгъ не успѣваетъ стаять въ теплое время года; приходъ больше расхода, вслѣдствіе чего, образуется, такъ называемый, «вѣчный снѣгъ». Для образованія вѣчнаго снѣга необходима не только достаточно низкая температура, но и обиліе осадковъ. Такъ напримѣръ, большая часть Сибири имѣетъ среднюю температуру года ниже 0° (на NE даже до —18°), но поверхность ея свободна отъ вѣчнаго снѣга, исключая горныхъ вершинъ, потому что количество осадковъ тамъ, особенно зимою, совершенно ничтожно. Нижняя граница вѣчнаго снѣга называется *снѣговой линіей*. Высота снѣговой линіи, не только подъ разными широтами, но и подъ одной и той же широтой, весьма различна; она зависитъ какъ отъ средней температуры мѣста, такъ и отъ количества осадковъ. Приводимъ числа, показывающія высоту снѣговой линіи въ различныхъ мѣстахъ (въ метрахъ):

Шпицбергенъ (77° с. ш.)	460
Исландія (65° с. ш.)	870
Норвегія (70° с. ш.) у береговъ . .	880
» внутри . . .	1020
Альпы (45°—47° с. ш.) западъ . .	2700
» востокъ . .	2800
Кавказъ (43°—44½ с. ш.) западъ .	3400
» востокъ .	3600
Гималаи (27°—34° с. ш.) южн. скл. .	4940
» сѣв. скл. .	5670
Каракорумъ (35°—36° с. ш.) . . .	5820
Анды (экваторъ)	4820
» (въ Чили 32° ю. ш.) . . .	3400
Патагонія (43° ю. ш.)	1830
Огненная земля (54°.5 ю. ш.). . .	950

Digitized by Google

Мы видимъ изъ таблицы, что высота снѣговой линіи подъ 70° с. ш. и 54° ю. ш. почти одинакова; это происходитъ оттого, что въ южномъ полушаріи количество осадковъ больше, чѣмъ въ сѣверномъ и лѣто сравнительно прохладное. Въ сѣверномъ полушаріи снѣговая линія нигдѣ, сколько извѣстно, не опускается до уровня моря, тогда какъ въ южномъ, на параллели 54° ю. ш., снѣговая линія опускается до уровня моря (на островѣ Южной Георгіи). Въ Тибетѣ, благодаря сухости климата, не встрѣчается вѣчнаго снѣга даже на высотѣ 6100 м. надъ уровнемъ моря. Накопленіе снѣга выше снѣговой линіи постоянно компенсируется, кромѣ лѣтняго таянія, еще двумя путями. Часть его падаетъ, время отъ времени, въ формѣ *лавинъ*, другая, уплотненная, медленно сползаетъ внизъ, образуя величественныя ледяныя рѣки, *ледники* или *глетчеры*. Для образованія глетчера нужны два условія: достаточное количество осадковъ и соотвѣтствующія орографическія условія, т. е. высокая обширная котловина для накопленія матеріала глетчера (фирна), открывающаяся въ медленно спускающуюся долину. Котловину эту можно уподобить верховью или истоку рѣки, вырабатывающему матеріалъ, питающій глетчеръ. Сползая внизъ и выдерживая давленіе всѣхъ выше лежащихъ слоевъ, первоначальный фирнъ (рыхлый и зернистаго строенія) постепенно уплотняется и обращается въ ледъ. Но этотъ ледъ однако отличается отъ рѣчного: онъ обнаруживаетъ слоистость и чередованіе слоевъ чистаго льда съ слоями полупрозрачнаго отъ избытка включенныхъ пузырьковъ воздуха.

Изслѣдованіе глетчеровъ относится къ области динамической геологіи. Мы лишь остановимся кратко на физической сторонѣ вопроса. Главная физическая особенность глетчеровъ заключается въ томъ, что они, въ своихъ движеніяхъ, воспроизводятъ, внѣшнимъ образомъ, теченіе рѣки или пластической массы. И дѣйствительно, при прямолинейномъ, слегка наклонномъ, ложѣ, вся масса льда, въ общемъ, движется безъ разрыва сплошности; но, подобно тому какъ и въ рѣкѣ, различныя точки какого-нибудь поперечнаго сѣченія движутся съ различными скоростями; наибольшую скорость имѣютъ точки, лежащія по серединѣ; скорость уменьшается къ берегамъ. Если русло глетчера дѣлаетъ поворотъ, то геометрическое мѣсто точекъ, имѣющихъ наибольшую скорость, отклоняется отъ середины, приближаясь къ выпуклому берегу. Если въ извѣстномъ мѣстѣ русло

Digitized by Google

раздваивается, то и глетчеръ дѣлится на двѣ вѣтви; обратно, два ледяныя теченія могутъ сливаться, образуя одинъ общій глетчеръ. Ледяныя массы глетчера огибаютъ скалы, встрѣчающіяся имъ на пути. Но, конечно, эта аналогія глетчера съ движущейся рѣкой или пластической массой теряется, если мы перейдемъ къ детальному изученію леднива. Глетчеръ испещренъ трещинами различнаго происхожденія. Мы сказали, что различныя точки одного и того же сѣченія, имѣютъ различныя скорости: среднія точки движутся быстрѣе, боковыя перемѣщаются медленнѣе. Вслѣдствіе этого, боковыя части ледника испытываютъ *натяженія*, по направленію, составляющему уголъ въ 45° съ краями глетчера, и *давленія* по направленію перпендикулярному къ линіямъ натяженія Въ результатѣ этихъ двухъ дѣйствій является рядъ трещинъ, идущихъ перпендикулярно къ линіямъ натяженія. Подобное распредѣленіе скоростей и натяженій можно обнаружить на простомъ опытѣ: если на поверхность сползающей вязкой массы (смолы, глины) въ каналѣ бросимъ три кружочка краски, то замѣтимъ, что средній кружокъ перемѣстился, не измѣнивъ своей формы; боковые же кружки отстали, вытянулись по направленію натяженія и сжались по направленію давленія. Если русло круто мѣняетъ свое паденіе, то ледъ, слѣдуя за этимъ уклономъ, истрескивается въ поперечномъ направленіи и образуетъ *ледопадъ*. Если русло принимаетъ опять свой обычный уклонъ, то трещины опять смыкаются. Если ледъ, изъ узкой долины переходитъ въ широкую, то на его поверхности является рядъ лучеобразныхъ продольныхъ трещинъ, которыя опять могутъ сомкнуться при переходѣ въ болѣе узкое ложе.

На краяхъ ледниковъ накопляются обыкновенно камни и мусоръ, падающіе на ледъ съ горныхъ склоновъ, мимо которыхъ онъ проходитъ; это, такъ называемыя, *боковыя морены*. Если два ледника сливаются, то ихъ боковыя морены соединяются въ одну, образуя *срединную морену*. Кромѣ боковыхъ и срединныхъ есть еще конечныя морены — скопленіе камней и мусора въ томъ мѣстѣ, гдѣ ледникъ оканчивается, т. е. тамъ, гдѣ успѣваетъ стаивать весь ледъ, приносимый ледникомъ.

Скорость движенія ледниковъ вообще больше лѣтомъ, чѣмъ зимой; она зависитъ также отъ величины уклона русла и отъ

Digitized by Google

размѣровъ ледника. Въ Альпахъ она болѣе 100 м. въ годъ (лѣтомъ до $^3/_4$ м. въ день).

Слѣдующая таблица показываетъ, до какой высоты опускаются ледники въ разныхъ странахъ:

	высота надъ уровнемъ моря	температура на этой высотѣ
Западная Норвегія (71°.5)	400	+4°.8
Швейцарія (46—45°)	983	+5.8
Сванетія (Кавказъ) (43°)	1954	+4.3
Дагестанъ (41°)	3163	+2.4
Новая Зеландія (ю. островъ) (43—45°)	212	+10.0
Патагонія (46—45°)	0	+8.4

Ледникъ, при своемъ движеніи, округляетъ всѣ неровности своего русла, полируетъ его, такъ что по наружному виду скалъ, по бороздамъ, оставленнымъ на нихъ камнями, попавшими на дно ледника и двигавшимися вмѣстѣ съ льдомъ, можно безошибочно указать, гдѣ были прежде ледники. Оказывается, что въ одну изъ геологическихъ эпохъ, называемую ледниковымъ періодомъ, ледниковъ было гораздо больше, нежели теперь; они встрѣчались тамъ, гдѣ ихъ теперь совершенно нѣтъ, какъ напримѣръ, въ Шотландіи, Валлисѣ, Финляндіи и въ Соединенныхъ Штатахъ С.-Америки; многія долины и озера Швейцаріи и сѣверной Италіи представляютъ ледниковыя русла. Такое развитіе ледниковъ, во время ледниковаго періода, указываетъ несомнѣнно на большое различіе между нынѣшнимъ и тогдашнимъ климатомъ Европы. Причина этого различія, вѣроятно, заключается въ перемѣнахъ, происшедшихъ съ того времени въ распредѣленіи суши и моря и въ направленіи и силѣ морскихъ теченій; при этомъ, температура съ тѣхъ поръ нѣсколько повысилась, и осадки стали выпадать чаще въ видѣ дождя, нежели снѣга. Въ южномъ полушаріи, въ Новой Зеландіи и въ Патагоніи, мы и теперь находимъ ледники, столь же развитые, какъ и бывшіе подъ соотвѣтственными сѣверными широтами во время ледниковаго періода; это зависитъ отъ преобладанія океана и отсутствія значительныхъ теплыхъ теченій. Наиболѣе благопріятныя условія для распространенія ледниковъ суть: холодное лѣто и сравнительно теплая зима съ обильнымъ снѣгомъ, что предполагаетъ близость моря свободнаго отъ льда, но лишеннаго

Digitized by Google

теплыхъ теченій. Въ историческое время въ Европѣ размѣры ледниковъ не оставались постоянными, но подвергались, и теперь подвергаются, постояннымъ перемѣнамъ: такъ, въ средніе вѣка ледники были гораздо меньше сравнительно съ новѣйшимъ временемъ; въ послѣднія десятилѣтія наблюденія обнаруживаютъ опять ихъ уменьшеніе и отступаніе. Эти послѣднія новѣйшія измѣненія въ размѣрахъ ледниковъ зависятъ отъ непериодическихъ измѣненій въ количествѣ осадковъ, особенно въ количествѣ снѣга, выпадающаго на фирнъ, и количествѣ дождя, выпадающаго на ледникъ: чѣмъ больше снѣга, тѣмъ обширнѣе фирнъ, питающій ледникъ; чѣмъ больше дождя, тѣмъ быстрѣе таетъ ледникъ. При этомъ, небольшое измѣненіе въ размѣрахъ фирна можетъ оказать чувствительное вліяніе на длину ледника, такъ какъ измѣняетъ не только количество льда, но и скорость его движенія. Вообще, съ увеличеніемъ количества фирна ледникъ, сдѣлавшись больше, таетъ медленнѣе и движется быстрѣе.

Для физика, особенный интересъ представляетъ теорія движенія глетчеровъ. Какимъ образомъ, столь хрупкое тѣло какъ ледъ, сползая, въ общемъ уподобляется теченію пластической массы? Предложено нѣсколько теорій движенія глетчеровъ. Извѣстно, что точка плавленія большей части тѣлъ повышается съ повышеніемъ давленія. Исключеніе составляютъ вода, висмутъ. Для воды повышеніе давленія понижаетъ температуру плавленія. Въ ледникѣ массы льда, особенно на поворотахъ и въ узкихъ проходахъ, подвергаются сильному давленію всѣхъ слоевъ его, выше лежащихъ. Подъ вліяніемъ этихъ верхнихъ давленій, нѣкоторыя части льда плавятся; освободившись отъ повышенныхъ давленій, эти массы опять замерзаютъ. Такимъ образомъ, въ массѣ глетчера происходятъ непрерывные процессы частичныхъ таяній и замерзаній; вслѣдствіе этого, общее впечатлѣніе таково, какъ будто въ руслѣ глетчера протискивалось пластическое тѣло, способное къ жидкостнымъ перемѣщеніямъ безъ разрыва сплошности. Но существуетъ и другое воззрѣніе. Извѣстно, что два кусочка льда могутъ, особенно при температурахъ близкихъ къ 0°, смерзаться. При движеніи глетчера, его масса изрѣзывается множествомъ мелкихъ трещинъ, которыя, при переходѣ льда въ другое мѣсто, опять смерзаются. Съ точки зрѣнія этого взгляда, перемѣщеніе массы льда можно разсматривать, какъ послѣдовательный процессъ растрескиваній

Digitized by Google

и смерзаній. Общее впечатлѣніе таково, какъ будто вся масса сохраняетъ непрерывно свою пластичность. Нужно замѣтить, что въ настоящее время перегородки, раздѣляющія твердыя и жидкія тѣла, постоянно сокращаются. Извѣстныя свойства мы находимъ какъ въ твердыхъ, такъ и въ жидкихъ тѣлахъ, но только въ различной степени. Опыты надъ истеченіемъ твердыхъ тѣлъ (Tresca, Spring'a и другихъ) показали, что твердыя тѣла способны къ жидкостнымъ движеніямъ безъ разрыва сплошности; другими словами, всѣ тѣла болѣе или менѣе пластичны, но только предѣлъ этой пластичности весьма различенъ. Напримѣръ, ледяная доска, опирающаяся на свои концы, подъ дѣйствіемъ своего вѣса, можетъ дать изгибъ; если повернемъ доску другой стороной, то направленіе изгиба мѣняетъ знакъ. Металлъ, заключенный въ цилиндрическихъ плотныхъ сосудахъ, въ которыхъ сдѣланы боковыя отверстія, подъ дѣйствіемъ высокаго давленія, истекаетъ струей, на подобіе жидкости. Отдѣльные куски тѣлъ спаиваются подъ высокимъ давленіемъ въ компактный кусокъ; напримѣръ, безцвѣтный почти порошокъ мѣднаго купороса образуетъ голубые кристаллы. Налитая на наклонную плоскость отвердѣвшая масса смолы, съ теченіемъ времени, начинаетъ течь подъ дѣйствіемъ собственной тяжести, образуя искусственный «смоляной глетчеръ». Ледъ способенъ также къ подобнымъ жидкостнымъ теченіямъ, и этимъ свойствомъ объясняются всѣ особенности въ движеніи глетчеровъ. До тѣхъ поръ, пока не прейденъ предѣлъ пластичности, ледъ течетъ какъ сплошное тѣло. Въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ сплошность нарушена, массы льда разрываются, образуя трещины, которыя дальше опять закрываются и спаиваются.

Глетчеры полярныхъ странъ спускаются непосредственно къ уровню моря и въ долинахъ, выходящихъ къ морю, врѣзываются въ него; отрываясь отъ общей массы, они уносятся теченіями и плаваютъ въ формѣ «ледяныхъ горъ» или «айсберговъ». Высота подобныхъ айсберговъ бываетъ иногда весьма значительна. Наблюдали айсберги, возвышающіеся на 70—80 м. надъ уровнемъ воды. Замѣтимъ, что еще болѣе значительная часть ихъ скрывается подъ водой. Пусть плавучая льдина имѣетъ форму прямоугольнаго параллелепипеда, основаніе котораго равно m, а высота n; пусть часть ея, равная x, погружена въ воду. По закону Архимеда, вѣсъ всей льдины долженъ рав-

Digitized by Google

няться вѣсу вытѣсненной воды; но вѣсъ льдины $=m(n+x)d$, гдѣ d плотность льда; вѣсъ вытѣсненной воды$=mxd_1$, гдѣ d_1 плотность морской воды. Для равновѣсія нужно:

$$m(n+x)d=mxd_1; \text{ откуда } x=\frac{nd}{d_1-d}.$$

Но $d=0.91$, $d_1=1.027$; слѣд. $x=n\times 7.8$. Слѣдовательно, если высота надводной части льдины равна 80 м., то высота ея подводной части составитъ 604 м. Айсберги уносятся теченіями въ болѣе низкія широты и вызываютъ нерѣдко пониженіе температуры. Южная граница айсберговъ, въ сѣверной части Атлантическаго океана, доходитъ до 40° с. ш. Въ отдѣльныхъ случаяхъ айсберги могутъ достигать даже Антильскихъ острововъ, какъ это было въ іюлѣ 1818 г.

Литературныя указанія. Кромѣ работъ, поименованныхъ въ текстѣ этой главы, укажемъ еще слѣдующіе источники.

А) *Образованіе гидрометеоровъ.*

1) Bezold. Zur Thermodynamik der Atmosphäre. Sitzungsb d. Berliner Akademie d. Wiss. (1888, 1890, 1892, 1900) или того же автора «Gesammelte Abhandlungen aus den Gebieten der Meteorologie und des Erdmagnetismus». Braunschweig. 1906.

2) *Wollny. Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. Bd. 14. Untersuchungen über die Bildung und die Menge des Thaues. S. 111.

3) *Homén. Bodenphysikalische und meteorologische Beobachtungen. Berlin. 1894. III.

4) *Waener. Historisch-kritische Uebersicht der Hageltheorien. Rotterdam. 1876.

5) *Gockel. Das Gewitter (главы 15 и 16 о градѣ). Köln. 1905.

6) Многочисленныя статьи въ «Zeitschrift für Meteorologie» 1868—1884 и въ «Meteorologische Zeitschrift». 1884—1907.

Digitized by Google

B) *Образованіе волнистыхъ облаковъ.*

7) Helmholtz. Sitzungsberichte der Berliner Akademie der Wissenschaften. 1888, S. 661 и 1889, S. 503.

8) Wegener. Studien über Luftwogen. Beiträge zur Physik der freien Atmosphäre. Bd. II, Heft 2, 1906, S. 55.

C) *Распредѣленіе осадковъ.*

9) * Вильдъ. Объ осадкахъ въ Россійской Имперіи. Спб. 1888.

10) * Hann. Lehrbuch der Klimatologie. Wien.

11) * Воейковъ. Климаты земного шара. Спб. 1884.

12) * Воейковъ. Метеорологія. Спб. 1905.

13) * Клоссовскій. Матеріалы для климатологіи юго-запада Россіи. Текстъ и атласъ. Одесса. 1899.

14) * Клоссовскій. Градобитія въ Россіи. Текстъ и карта. Метеорологическое Обозрѣніе. Труды метеорологической сѣти юго-запада Россіи. Десятилѣтіе. 1886—1895. Одесса. 1896.

15) * Многочисленныя описанія грозъ и градобитій, формъ и размѣровъ градинъ. Метеорологическое Обозрѣніе. Труды метеорологической сѣти юго-запада съ 1886 по 1906 годъ. Одесса.

16) Многочисленныя статьи въ журналѣ Gravelius'a «Zeitschrift für Gewässerkunde».

D) *Глетчеры.*

17) * Heim. Handbuch der Gletscherkunde. Stuttgart. 1885.

18) * Крапоткинъ. Изслѣдованіе о ледниковомъ періодѣ. Спб. 1876.

19) * Hess. Die Gletscher. Braunschweig. 1904. Въ этой книгѣ приведена весьма обширная литература о глетчерахъ.

20) Въ 1906 году возникъ особый журналъ по ледниковѣдѣнію: Zeitschrift für Gletscherkunde, издаваемый профессоромъ Вѣнскаго университета E. Brückner'омъ.

Digitized by Google

XIII.

Температура и давленіе въ болѣе высокихъ слояхъ атмосферы.

Методы изслѣдованія болѣе высокихъ слоевъ атмосферы: горныя обсерваторіи, воздушныя поднятія, змѣйковыя станціи. Наблюденія горныхъ станцій. Результаты воздушныхъ поднятій. Инверсія температуры въ болѣе высокихъ слояхъ атмосферы. Новѣйшія наблюденія на станціяхъ Lindenberg и Uccle. Наиболѣе низкія температуры въ высокихъ, доступныхъ наблюденію, слояхъ атмосферы. Аналитическое выраженіе закона паденія температуры въ функціи высоты. Распредѣленіе давленія въ болѣе высокихъ слояхъ атмосферы. Общіе выводы. Литературныя указанія.

Методы изслѣдованія болѣе высокихъ слоевъ атмосферы: горныя обсерваторіи, воздушныя поднятія, змѣйковыя станціи. До сихъ поръ мы оставались, почти исключительно, на днѣ нашей воздушной оболочки. Теперь естественно взоръ нашъ обращается вверхъ въ недоступныя выси атмосферы. При помощи луча свѣта полученъ, какъ мы уже видѣли, рядъ указаній относительно различныхъ ярусовъ атмосферы. Изъ наблюденій надъ облаками опредѣлены направленія и скорости движенія въ различныхъ слояхъ атмосферы. Изученіе явленія сумерекъ и красной зари дало возможность опредѣлить метеорологическое распространеніе атмосферы; спектроскопъ указалъ, своими теллурическими линіями, избирательную поглощательную способность составныхъ частей воздуха, особенно водяныхъ паровъ. Явленіе вѣнца или короны около луны и солнца доставило матеріалъ для опредѣленія величины туманныхъ тѣлецъ, образующихъ облачную пелену и т. д. Но современная наука не можетъ довольствоваться одними только *косвенными* указаніями. Необходимо непосредственно проникнуть возможно выше съ измѣрительными приборами въ рукахъ, тѣмъ болѣе, что въ высокихъ слояхъ атмосферы находится ключъ къ рѣшенію многихъ основныхъ задачъ метеорологіи. Наблюденія, производимыя одновременно на различныхъ высотахъ, создадутъ синоптическую метеорологію верхнихъ слоевъ, а слѣдовательно, установятъ общую картину верхней циркуляціи подобно тому, какъ наблю-

Digitized by Google

денія на земной поверхности установили схему нижней циркуляціи. Только измѣреніями въ болѣе высокихъ слояхъ атмосферы можно опредѣлить точнѣе напряженіе и, что весьма важно, составъ солнечной радіаціи и протяженіе солнечнаго спектра, а также рѣшить вопросъ о знакѣ и распространеніи электрическихъ массъ въ атмосферѣ. При благопріятныхъ условіяхъ, можно, такъ сказать, захватить извѣстную фазу явленія, напримѣръ, образованіе дожди, грозы, града, т. е. присутствовать непосредственно въ моментъ проявленія творческихъ силъ природы. Замѣтимъ при этомъ, что тамъ, высоко, вдали отъ поверхности земли, мы наблюдаемъ явленія во всей ихъ чистотѣ, освобожденныя отъ возмущающихъ дѣйствій земной поверхности.

Наука давно уже пользуется отдѣльными горными вершинами для устройства сторожевыхъ метеорологическихъ пунктовъ. При устройствѣ *горныхъ* станцій необходимо имѣть въ виду, чтобы избираемая для наблюденій вершина была какъ можно ближе къ условіямъ *свободной* атмосферы. Въ настоящее время имѣется уже цѣлый рядъ горныхъ станцій: Puy-de-Dôme (1446 м.), Ben-Nevis (1343 м.), Obir (2140 м.), Pic du Midi (2880 м.), Säntis (2500 м.), Etna (2942 м.), Sonnblick (3106 м.), Montblanc (4359 м.). До настоящаго времени наиболѣе выдвинуты были станціи на Монбланѣ (4359 метровъ) и на Pikes-Peak (нынѣ упразднена) въ Сѣвер. Америкѣ (4308 метровъ). Самопишущіе приборы были установлены на вершинѣ потухшаго вулкана Al Misti [1]) въ Перу на высотѣ 5830 метровъ [2]).

Столь же давно наука прибѣгаетъ къ воздушнымъ шарамъ. Цѣлыя сотни поднятій совершены въ истекшемъ столѣтіи. Коренная важность этихъ поднятій настолько возросла, что, въ

---

[1]) Annal. de la société météorologique de France. Janvier—février, 1897, p. 96.

[2]) Пастуховъ оставилъ, 16 іюня 1893 года, максимумъ— и минимумъ— термометры на Большомъ Араратѣ (5146 м.). Спустя годъ слишкомъ (25 августа 1894 года) термометры эти показывали 17°.5 (максимумъ) и —39°.7 (минимумъ). Meteorol. Zeitschrift. 1897, S. 308—309.

Наиболѣе высокая точка земной поверхности, до которой подымался человѣкъ,—это вершина Akoncagua (выше 8000 метровъ). Этой точки достигъ швейцарскій проводникъ Zurbriggen. Ciel et terre, 17 année, № 8 p. 211.

Digitized by Google

послѣдніе годы, поднятія приняли характеръ международныхъ предпріятій. Въ то же время, основаны общества поощренія воздухоплаванія съ научной цѣлью, усовершенствованы методы наблюденій, указавшіе на значительныя погрѣшности и недостатки прежнихъ аэростатическихъ измѣреній, основаны спеціальные журналы, посвященные научному воздухоплаванію. Огромныя заслуги въ этомъ дѣлѣ принадлежатъ французамъ Fonvielle'y, Tissandier, Hermite'y и Besançon'y, нѣмцамъ Berson'y, Baschin'y, Börnstein'y, Assmann'y, эльзасцу Hergesell'ю, русскимъ Поморцеву и Кованько. Записаны также на страницахъ исторіи имена мучениковъ науки, пострадавшихъ во время поднятія 15 апрѣля 1875 года, а также предпріимчиваго Andrée, погибшаго, со своими спутниками, въ снѣгахъ и льдахъ полярныхъ странъ [1]).

Въ послѣдніе годы основаны спеціальныя аэродинамическія обсерваторіи для изученія болѣе высокихъ слоевъ атмосферы. Инціатива въ этомъ дѣлѣ принадлежитъ французу Teisserenc de Bort'y, устроившему подобное спеціальное учрежденіе въ Trappes'ѣ въ 29 километрахъ къ юго-западу отъ Парижа.

Результаты многочисленныхъ поднятій тщательно разрабатываются и издаются. Обзоры изслѣдованій Teisserenc de Bort'a, по большей части, печатаются въ парижскихъ «Comptes Rendus de l'académie des sciences». Въ 1900 году, обнародованъ колоссальный трудъ, заключающій въ себѣ разработку всѣхъ наблюденій и изслѣдованій германскаго воздухоплавательнаго ферейна [2]). Въ 1906 году вышелъ первый томъ трудовъ аэронав-

---

[1]) Отмѣтимъ болѣе значительныя поднятія:

a) академикъ Захаровъ 30 іюня 1804 года изъ Петербурга;

b) Biot et Gay-Lussac въ 1804 году изъ Парижа (7016 м.);

c) Barral et Bixio 26 іюня 1850 года (7039 м.);

d) Welsh—10 ноября 1852 года (6987 м.);

e) многочисленныя поднятія Glaisher'a между 1862 и 1864 годами; наибольшая высота достигнута 5 сентября 1862 года (8838 м.);

f) многочисленныя поднятія Tissandier въ семидесятыхъ годахъ прошлаго столѣтія; фатальное значеніе для спутниковъ Tissandier (Crocé-Spinel et Sivel) имѣло поднятіе 15 апрѣля 1875 года до высоты 8600 м. Далѣе слѣдуютъ поднятія Berson'a, Baschin'a и другихъ.

[2]) R. Assmann und A. Berson. Wissenschaftliche Luftfahrten. 3 Quartbände. Braunschweig. 1900.

Digitized by Google

тической обсерваторіи, организованной близъ Линденберга въ Пруссіи [1]). Въ томъ же году напечатанъ отчетъ объ устройствѣ и дѣятельности аэродинамическаго института, устроеннаго въ Россіи (въ Кучино) на частныя средства г. Рябушинскаго [2]). Три года тому назадъ возникло особое строго-научное изданіе, посвященное теоретической разработкѣ вопросовъ, касающихся физики свободной атмосферы [3]).

Въ девяностыхъ годахъ истекшаго столѣтія, главнымъ образомъ по иниціативѣ Rotch'a, директора обсерваторіи на Blue Hill въ Америкѣ, стали примѣнять *змѣи* для изученія болѣе низкихъ слоевъ атмосферы. Наибольшая высота, до которой удалось поднять змѣй съ самопишущими приборами, равна 6430 метровъ [4]). Въ настоящее время змѣйковыя станціи получили весьма широкое распространеніе и дали уже весьма важные научные результаты [5]).

Человѣку удалось до настоящаго времени подняться до высоты 10100 метровъ. Чтобы получить вѣсти изъ болѣе высокихъ слоевъ оставалось еще одно средство: пускать свободные шары (ballons sondes), безъ наблюдателей, но снабженные само-

---

[1]) Ergebnisse der Arbeiten des Königlich-Preussischen Aeronautischen Observatoriums bei Lindenberg im Jahre 1905. I Band. Herausg. von R. Assmann. Braunschweig. 1906.

[2]) Bulletin de l'institut aérodynamique de Koutchino. Fascicule I. St.-Petersbourg. 1906.

[3]) Beiträge zur Physik der freien Atmosphäre. Много интересныхъ данныхъ можно найти также въ журналѣ «Illustrierte Aeronautische Mitteilungen».

[4]) Изъ аэронавтической обсерваторіи въ Lindenberg'ѣ 25 ноября 1905 года. На этой высотѣ отмѣчена температура —25°.0 и скорость вѣтра 25 метровъ въ секунду; на поверхности земли въ то же время термометръ показывалъ 5°.0, а скорость вѣтра была 8 метровъ въ секунду (см. Ergebnisse, S. 63).

[5]) Техника змѣевыхъ станцій см.:

a) статья Köppen'a въ «Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie» 1906. Heft II und III;

b) статья Кузнецова въ «Ежемѣсячномъ метеорологическомъ бюллетенѣ Главной Физической обсерваторіи». 1897, № 4;

c) книга Lecornu. Les cerfs volants. Paris.

d) Moedebeck. Taschenbuch für Flugtechnicker und Luftschiffer. 1904.

Digitized by Google

пишущими приборами. При посредствѣ такихъ шаровъ достигнута, въ 1905 году, высота около 22150 метровъ [1]).

Въ настоящей главѣ мы остановимся на результатахъ, относящихся, преимущественно, къ температурнымъ условіямъ болѣе высокихъ слоевъ атмосферы.

Наблюденія горныхъ станцій. Намъ уже извѣстно, что теплота, полученная земной поверхностью, передается, путемъ теплопроводности, медленно и постепенно, отъ слоя къ слою вверхъ. Съ другой стороны, въ атмосферѣ существуютъ конвективные токи: нагрѣтыя частицы поднимаются вверхъ, а взамѣнъ ихъ опускаются верхнія, болѣе холодныя, массы. Но мы видѣли также, что, при поднятіи нагрѣтыхъ массъ, происходитъ ихъ *динамическое* охлажденіе. Такимъ образомъ, въ общемъ, температура по мѣрѣ поднятія надъ земной поверхностью должна постепенно убывать.

Измѣненіе температуры съ высотою въ *горныхъ* мѣстностяхъ происходитъ по довольно сложному закону и значительно отличается отъ измѣненій ея въ *свободной* атмосферѣ. Въ горныхъ странахъ и даже на отдѣльной горной вершинѣ температура обусловливается тепловымъ дѣйствіемъ почвы горныхъ склоновъ и самой вершины. Въ свободной же атмосферѣ устраняется дѣйствіе, если можно такъ выразиться, подстилки.

Разсмотримъ, прежде всего, каковы должны быть тепловыя условія надъ обширной площадью, поднятой до высоты 1000 и болѣе метровъ. Солнечная радіація дѣйствуетъ интенсивнѣе; съ другой стороны, усиливается также значительно лучеиспусканіе, такъ какъ надъ головой наблюдателя остается болѣе тонкій слой атмосферы, менѣе богатый парами; лучеиспусканіе дѣйствуетъ днемъ и ночью; въ результатѣ—уменьшеніе тепла, аккумулированнаго атмосферой и большая разница между температурой дня и ночи.

Представимъ себѣ далѣе, что, вмѣсто обширной горной поверхности, мы имѣемъ дѣло съ горной вершиной, круто подымающейся вверхъ до той же высоты. Очевидно, что убываніе тепла къ вершинѣ должно быть больше, чѣмъ въ предыдущемъ

---

[1]) Ergebnisse der Arbeiten d. Aeronautischen Observatoriums bc Lindenberg im Jahre 1905. S. 101.

Digitized by Google

случаѣ, ибо главный источникъ тепла—нагрѣтая почва—сведенъ къ минимуму (вершина). Правда, что въ дневные часы нагрѣваются сильно склоны горы, и нагрѣтый воздухъ поднимается вверхъ къ вершинѣ; но, во-первыхъ, онъ испытываетъ динамическое охлажденіе, а во-вторыхъ, сильными вѣтрами постоянно уносится въ сторону свободной атмосферы. На томъ же основаніи, слой *свободной* атмосферы, лежащей на той же высотѣ, долженъ имѣть еще меньшій запасъ тепла. Многочисленныя наблюденія горныхъ станцій показали, что вообще температура убываетъ въ среднемъ на 0.58 на каждые 100 метровъ поднятія:

мѣсто наблюденія	паденіе темп. на 100 м.	мѣсто наблюденія	паденіе темп. на 100 м.
Ява	0°.60	Анды Колумбіи . .	0°.51
Цейлонъ . . .	0.62	» Эквадора . .	0.54
Ю. Индія . .	0.60	Зап. Альпы . . .	0.58
Абиссинія . .	0.58	Гарцъ	0.58.
Камерумъ . .	0.59		

Условія мѣстности вносятъ различныя модификаціи. Въ измѣненіяхъ температуры съ высотою существуютъ суточные и годовые періоды. Ночью, почва охлаждается и болѣе холодныя массы воздуха стекаютъ внизъ, въ долины; вслѣдствіе этого происходитъ болѣе медленное паденіе температуры съ высотою въ ночные часы, какъ это видно изъ слѣдующей таблицы [1]), показывающей уменьшеніе температуры на каждые 100 метровъ между Kolm-Saigur (1600 м.) и вершиной Sonnblick'a (3106 м.):

	полночь	2	4	6	8	10	полдень	2	4	6	8	10	средн.
зима	0°.50	0.49	0.49	0.49	0.50	0.60	0.66	0.59	0.54	0.52	0.51	0.50	0.53
лѣто	0.64	0.62	0.60	0.69	0.81	0.87	0.89	0.88	0.82	0.73	0.68	0.65	0.74
годъ	0.56	0.55	0.54	0.57	0.65	0.74	0.79	0.75	0.68	0.61	0.58	0.57	0.60.

Паденіе температуры съ высотою испытываетъ также *годовой* ходъ. Въ тропическомъ поясѣ этотъ ходъ обусловливается смѣной сухого и влажнаго или дождливаго времени года. Въ среднихъ и высшихъ широтахъ температура падаетъ быстрѣе лѣтомъ и медленнѣе зимою. Наиболѣе быстрое паденіе наблюдается раннимъ лѣтомъ. Въ это время года, на горахъ снѣгъ

[1]) Hann. Lehrbuch der Meteorologie 1905. S. 102.

Digitized by Google

таетъ или только что растаялъ, что препятствуетъ еще нагрѣванію; между тѣмъ внизу, поверхность почвы, давно уже свободная отъ снѣга, можетъ сильно нагрѣваться. Воздушныя поднятія показали, что и въ свободной атмосферѣ наиболѣе быстрое паденіе также происходитъ весной. Приведемъ наблюденія горныхъ станцій:

		макс.	мин.	годъ
Sonnblick . . .	3106 м.	0°.75 (іюнь)	0.55 (декабрь)	0.65
Ben-Nevis . . .	1343 »	0.76 (апрѣль)	0.59 (январь)	0.67
Pikes Peak . .	4308 »	0.74 (май)	0.58 (декабрь)	0.64

Если сгруппировать болѣе полныя наблюденія горныхъ станцій, то получимъ слѣдующій *средній* годовой ходъ:

январь . . .	0°.30	іюль	0°.70
февраль . . .	0.53	августъ . . .	0.66
мартъ . . .	0.67	сентябрь . . .	0.57
апрѣль . . .	0.62	октябрь . . .	0.54
май	0.71	ноябрь . . .	0.52
іюнь	0.75	декабрь . . .	0.30
	годъ . . .	0°.58.	

Вообще, до высоты горныхъ станцій, можно принять, безъ значительной погрѣшности, что температура, въ *среднемъ*, убываетъ по слѣдующему простому закону:

$$t_h = t_0 - ah,$$

гдѣ t_0—температура на земной поверхности,

» t_h— » » высотѣ h,

» a—постоянный коэффиціентъ, вычисленный изъ наблюденій.

Раньше мы видѣли также, что ночью и зимою пониженіе температуры съ высотою можетъ перейти въ повышеніе. Вообще, распредѣленіе температуры на склонахъ, вершинахъ, въ долинахъ и горныхъ странахъ весьма сложно и представляетъ много кажущихся аномалій, которыя легко объяснить въ каждомъ данномъ случаѣ, если принять во вниманіе орографическія условія мѣстности. Напримѣръ, возможно, что средняя темпе-

Digitized by Google

ратура должна, въ зимніе мѣсяцы, можетъ быть ниже, чѣмъ мѣстъ, лежащихъ выше. Обращеніе температуры съ высотою можно считать нормальнымъ явленіемъ во всѣхъ горныхъ странахъ болѣе высокихъ широтъ въ теченіе зимнихъ мѣсяцевъ (декабрь и ноябрь). Особенно большое распространеніе оно должно имѣть на сѣверо-востокѣ Азіи, въ области наиболѣе низкихъ зимнихъ температуръ, какъ это указалъ Воейковъ. Слишкомъ низкія температуры въ этой области слѣдуетъ именно приписать скопленію холоднаго воздуха у поверхности земли въ зимніе мѣсяцы. Эти низкія температуры усиливаются здѣсь чисто орографическими условіями. Повышеніе температуры съ высотою можетъ совершаться иногда въ весьма широкихъ предѣлахъ. Такъ, въ декабрѣ 1879 года, когда надъ всей западной Европой распространилось высокое давленіе при весьма низкой температурѣ, термометръ на Пюй-де-Домъ (1446 м.) показывалъ выше, чѣмъ въ Клермонъ-Ферранѣ (365 м.):

17	декабря	на	17°.0
21	»	»	20.0
22	»	»	21.0
26	»	»	20.2.

Подобное обращеніе температуры съ высотою можно констатировать и въ свободной атмосферѣ до весьма значительныхъ высотъ, какъ это видно изъ слѣдующихъ воздушныхъ поднятій:

Мюнхенъ. 2 іюня 1893 г. (ночью)		Страсбургъ. 7 іюля 1898 г. (ночью)		Вѣна. 10 января 1901 г.	
Высоты (въ метрахъ)	Температуры	Высоты (въ метрахъ)	Температуры	Высоты (въ метрахъ)	Температуры
поверхность	14°.5	поверхность	15.7	поверхность	—11
100	16.7	100	17.5	670	— 6
200	18.2	200	17.9	1000	— 3
300	18.4	300	17.5	1300	— 2
400	17.6	400	17.0	1600	+ 2
500	16.6	500	16.5	1800	+0.8
600	15.7	600	16.1	2000	0
700	14.7	700	15.6	2740	— 5

Digitized by Google

Результаты воздушныхъ поднятій. Еще интереснѣе вопросъ объ измѣненіяхъ температуры въ свободной атмосферѣ до наибольшихъ, доступныхъ наблюденію, высотъ. Эти числа добыты многочисленными, въ послѣднее время, поднятіями шаровъ съ наблюдателями и шаровъ зондовъ. Результаты, полученные въ настоящее время, совершенно измѣнили наши прежніе взгляды на температурныя условія болѣе высокихъ слоевъ атмосферы. Оказалось, что въ высокихъ ярусахъ атмосферы, температура гораздо ниже, и законъ ея измѣненія совершенно иной, чѣмъ это слѣдовало изъ наблюденій Glaisher'a. Обнаружилось далѣе, что на большихъ высотахъ, колебанія температуры, отъ одного дня къ другому, иногда достигаютъ 15° и болѣе градусовъ. Найдено, наконецъ, что на высотѣ 8—11 километровъ наступаетъ инверсія: паденіе температуры останавливается (изотермическій слой) или даже переходитъ въ повышеніе. Результаты, полученные отдѣльными наблюдателями, весьма согласны между собою, такъ что теперь мы имѣемъ очень полное представленіе, какъ о среднемъ распредѣленіи тепла по вертикальному направленію, такъ и объ отдѣльныхъ его особенностяхъ. Приведемъ, прежде всего, среднее распредѣленіе тепла на различныхъ высотахъ надъ средней Европой:

километры	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
температуры	5°.0	0.5	−4.0	−9.2	−15.4	−22.0	−29.0	−36.2	−43.2	−49.2
паденіе температуры на 100 м.	0°.45	0.45	0.52	0.62	0.66	0.70	0.72	0.72	0.60.	

Какъ видно, температура въ болѣе низкихъ слояхъ (до 4 километровъ) падаетъ медленнѣе. Главная причина этого замедленія заключается въ томъ, что въ нижнихъ слояхъ возможно, какъ мы видѣли, обращеніе (инверсія) температуры не только зимою, но и лѣтомъ (въ ночные часы). Кромѣ того, слой, лежащій на высотѣ 2—3 километровъ, совпадаетъ съ ярусомъ наиболѣе обильнаго образованія облаковъ; въ этомъ слоѣ выдѣляющееся, при образованіи облаковъ, скрытое тепло нѣсколько компенсируетъ паденіе температуры.

Вліяніе временъ года на паденіе температуры можно видѣть изъ слѣдующихъ чиселъ:

Digitized by Google

A) Teisserenc de Bort въ Парижѣ:

высота въ километрахъ	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7	7—8	8—9	9—10
зима. . .	0.33	0.45	0.54	0.62	0.66	0.72	0.72	0.66	0.55
лѣто. . .	0.50	0.51	0.51	0.59	0.60	0.70	0.76	0.80	0.73

B) Прусская аэронавтическая обсерваторія:

высота въ километрахъ	0—0.5	0.5—1	1—1.5	1.5—2	2—2.5	2.5—3	3—3.5
зима. . . .	0.24	0.27	0.30	0.39	0.46	0.56	0.54
лѣто. . . .	1.09	0.69	0.65	0.63	0.54	0.53	0.59

Если черезъ точки атмосферы, имѣющія одинаковыя температуры, проведемъ непрерывную поверхность, то получимъ, такъ называемую, *изотермическую* поверхность. Поверхности эти можемъ провести черезъ каждые 2—3 или болѣе градуса. Изотермическія поверхности атмосферы постоянно перемѣщаются, то приближаясь къ земной поверхности, то опять удаляясь отъ нея. Въ зимніе мѣсяцы, вся система изотермическихъ поверхностей лежитъ, въ среднемъ, ниже, чѣмъ въ лѣтніе. Въ слѣдующей таблицѣ показана средняя высота различныхъ изотермъ въ Парижѣ по Teisserenc de Bort'y:

	въ февралѣ	въ августѣ
0^0	0.3 килом.	3.4 килом.
—20	4.8 »	7.0 »
—40	7.8 »	9.5 »
—50	9.0 »	11.0 »

Затуханіе *годовыхъ* колебаній происходитъ, очевидно, выше 11 километровъ. *Суточныя* же колебанія прекращаются въ свободной атмосферѣ, по всей вѣроятности, на высотѣ 1—1.5 километра.

Среднее паденіе температуры съ высотою (средній вертикальный градіентъ) согласно съ теоретическими выводами Бецольда. Въ самыхъ нижнихъ слояхъ атмосферы, законъ паденія температуры замаскированъ мѣстными вліяніями и частыми инверсіями. Въ слоѣ наиболѣе обильнаго образованія облаковъ, паденіе это замедляется выдѣляющимся скрытымъ тепломъ. Въ болѣе высокихъ слояхъ, уменьшеніе температуры съ высотою идетъ опять быстрѣе, приближаясь къ адіабатическому измѣне-

Digitized by Google

нію сухого воздуха. Въ исключительныхъ случаяхъ, подобное, можно сказать, теоретическое паденіе можно наблюдать непосредственно, какъ напримѣръ, 4 декабря 1894 года (поднятіе Berson'a):

отъ	1450	до 4250 . . .	0°.55	на 100 м.
»	4250	» 6050 . . .	0.81	» » »
»	6050	» 8050 . . .	0.63	» » »
»	8050	» 9050 . . .	0.91	» » »

Если мы будемъ разсматривать изотермическія поверхности отдѣльно по ярусамъ, то прійдемъ къ слѣдующимъ выводамъ. Въ *среднемъ* ярусѣ (отъ 3 до 8 килом.) изотермы идутъ довольно правильно и перемѣщенія ихъ, отъ одного дня къ другому, совершаются въ довольно тѣсныхъ предѣлахъ. Но изотермы въ этомъ ярусѣ никогда не образуютъ замкнутыхъ контуровъ, указывающихъ на существованіе замкнутыхъ холодныхъ или теплыхъ массъ. Въ *нижнихъ* слояхъ (до 2—3 километровъ), напротивъ того, изотермы образуютъ многочисленные изгибы и часто замкнутые контуры обращеній температуры. Въ *верхнихъ* слояхъ видны опять многочисленныя неправильности въ распредѣленіи температуръ.

Инверсія температуры въ болѣе высокихъ слояхъ атмосферы. Наблюденія Assmann'a, а также Teisserenc de Bort'a открыли новый интересный, пока не разъясненный, фактъ: на высотѣ 8—11 километровъ обнаруживается слой однообразной температуры *(изотермическій)*, а далѣе замѣтно даже повышеніе ея (инверсія).

Въ изотермической зонѣ наблюдаютъ полное прекращеніе пониженія температуры съ высотою, которое иногда наступаетъ вдругъ. Но пріостановка эта начинается на различныхъ высотахъ; съ другой стороны, абсолютная величина температуры, отъ одного дня къ другому, измѣняется столь сильно, что система изотермъ многихъ, другъ за другомъ слѣдующихъ, дней представляетъ весьма сложную картину, совершенно отличную отъ распредѣленія температуръ средняго яруса. Къ удивленію нашему убѣждаемся, что, вдали отъ почвы, которая считается регуляторомъ тепловыхъ условій атмосферы, температура, на протяженіи нѣсколькихъ дней, можетъ испытывать измѣненія, равновеликія или даже большія, чѣмъ тѣ, которыя, въ то же время,

Digitized by Google

испытываютъ слои, лежащіе у земной поверхности. Это явленіе перестаетъ быть загадкой, если допустимъ, что слой, въ которомъ температура съ высотой перестаетъ убывать, составляетъ границу той части атмосферы, въ которой происходитъ движеніе съ сильной вертикальной составляющей (циклоны и антициклоны). Но толщина этого слоя неодинакова, а отсюда, слѣдовательно, понятно, почему изотермы высокихъ слоевъ атмосферы претерпѣваютъ большія колебанія. Assmann указываетъ, что начало изотермической зоны совпадаетъ съ нижней границей перистыхъ облаковъ.

Новѣйшія наблюденія на станціяхъ Lindenberg и Uccle. Приведенныя выше числа представляютъ средніе результаты. Разсмотримъ теперь ближе различныя детали въ ходѣ вертикальнаго паденія температуры, основываясь на наблюденіяхъ, произведенныхъ на станціяхъ Lindenberg и Uccle (въ Бельгіи) въ теченіе 1895—1897 годовъ. 11-го апрѣля 1905 года, шаръ-зондъ, выпущенный изъ Lindenberg'a, отмѣтилъ:

высота въ киломъ.	температура	высота въ киломъ.	температура
0.5	12°.4	6.0	—13°.4
1.0	10.6	7.0	—19.1
1.5	8.6	8.0	—24.5
2 0	6.7	9.0	—32.8
2.5	4.1	10.0	—40.9
3 0	1.8	11.0	—47.7
4.0	—3.1	12.0	—55.8
5.0	—8.1	13.0	—60.0.

Но далеко не всегда температура падаетъ такъ плавно и непрерывно; часто замѣчается обращеніе температуры и даже перемежаемость болѣе высокихъ и болѣе низкихъ температуръ. Другими словами, атмосфера имѣетъ какъ будто «пластинчатое» строеніе. Поднятіе змѣевъ въ Blue Hill показало, что, до высоты трехъ километровъ, можно встрѣтить отъ двухъ до трехъ такихъ пластинокъ. Это чередованіе пластовъ замѣтилъ еще Глешеръ. Подобное чередованіе объясняется одновременнымъ существованіемъ на различныхъ высотахъ нѣсколькихъ теченій, обладающихъ различными метеорологическими особенностями.

Digitized by Google

Раньше было замѣчено, что, иногда, плавный ходъ паденія температуры нарушается, въ извѣстномъ слоѣ, *быстрымъ* увеличеніемъ вертикальнаго градіента; такъ напримѣръ, Барраль и Биксіо 27 іюля 1850 года наблюдали:

на высотѣ	6330 метровъ . . .	$-10^{0}.8$
» »	7039 » . . .	—39.7
разность	709 » . . .	28.9,

что даетъ пониженіе $4^{0}.1$ на каждые 100 метровъ вертикальнаго поднятія.

Всѣ почти новѣйшія наблюденія обнаружили существованіе изотермической зоны, или вѣрнѣе, зоны, въ которой вертикальный температурный градіентъ мѣняетъ знакъ. Наблюденія въ Lindenberg'ѣ дали слѣдующія числа для высоты и температуры на нижней границѣ инверсіи:

время поднятія	высота начала инверсіи	температура на нижней ея границѣ
9 февраля 1905 г. . .	9000 м.	-52^{0}
2 марта » » . .	11000 »	—56
4 апрѣля » » . .	14300 »	—74
11 мая » » . .	12200 »	—60
7 іюня » » . .	13000 »	—58
3 августа » » . .	10000 »	—71
29 » » » . .	14000 »	—48
30 » » » . .	9400 »	—57
31 » » » . .	11000 »	—46
5 октября » » . .	8500 »	—41
16 » I » » . .	12000 »	—40
16 » II » » . .	9000 »	—45
9 ноября » » . .	10000 »	—50
14 » » » . .	10000 »	—58

Digitized by Google

Близкія къ этому результаты получены на станціи Uccle:

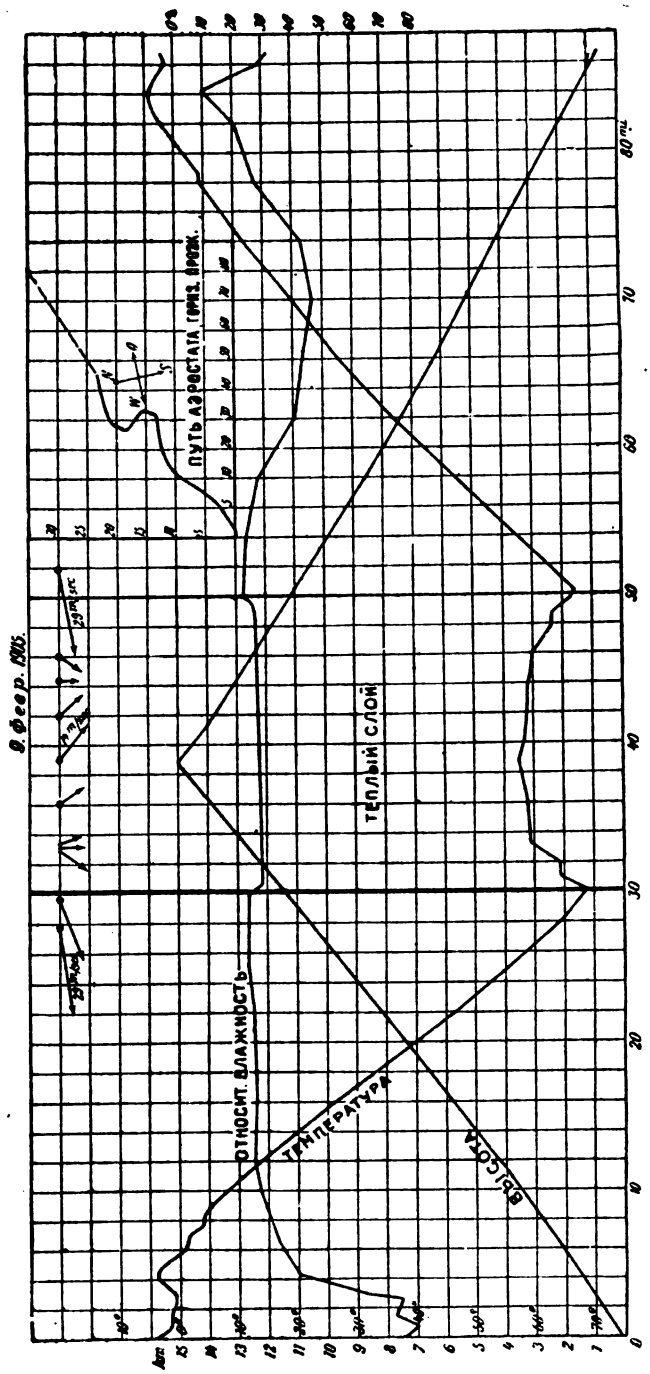
время поднятія	начало инверсіи	температура
7 іюня 1906 г. . .	11460 м.	— 65°.2
5 іюля » » . .	9829 »	—57.2
2 августа » » . .	13764 »	—62.5
8 ноября » » . .	10504 »	—58.2
6 декабря » » . .	9168 »	—50.6
14 января 1907 г. . .	12361 »	—59.0
7 февраля » » . .	15346 »	—62.2
7 марта » » . .	9695 »	—56.2
11 апрѣля » » . .	8176 »	—47.0

Изъ этихъ двухъ рядовъ наблюденій видно, что зона инверсіи начинается, среднимъ числомъ, на высотѣ около 11 километровъ. Въ отдѣльныхъ случаяхъ, она колебалась:

по наблюденіямъ станціи Lindenberg между 8500 и 14300 м.
» » » Uccle » 8176 » 15346 ».

На фиг. 189 графически представлены результаты наблюденій во время поднятія изъ Страсбурга 9 февраля 1905 года. На этомъ чертежѣ показана высота поднятія (до 15 километровъ), паденіе температуры, ходъ относительной влажности, направленіе и сила вѣтра на различныхъ высотахъ. Особенно наглядно выражена здѣсь инверсія. Она началась на высотѣ около 11.4 километра, при температурѣ около —68°. Въ наивысшей точкѣ поднятія (15 килом.) термометръ поднялся до —57°.5. Относительная влажность въ зонѣ инверсіи упала до 28%. Замѣчательно, что, при вступленіи шара въ изотермическую область, какъ видно изъ чертежа, влажность рѣзко уменьшилась на нѣсколько процентовъ, а вѣтеръ измѣнилъ направленіе и скорость. Такимъ образомъ, теплый слой нарушилъ не только правильное теченіе температуры и влажности, но измѣнилъ характеръ воздушныхъ теченій; направленіе верхняго теченія отличалось отъ нижняго на 130°, а скорость изъ 30 метровъ перешла въ 14 метровъ въ секунду.

Digitized by Google



Фиг. 189.

Digitized by Google

На фиг. 190 графически представлены результаты четырехъ поднятій 1906 года со станціи Uccle: 7 іюня (кривая *AA*), 5 іюля (кривая *BB*), 2 августа (кривая *CC*) и 4 октября (кривая *DD*). Всѣ эти поднятія рѣзко обнаружили инверсію на высотѣ отъ 10 до 14 километровъ. Кривыя I, II, III и IV представляютъ ходъ относительной влажности для тѣхъ же поднятій, а кривыя *aa* и *bb*—ходъ вертикальнаго градіента температуры на различныхъ высотахъ.

Интересно знать, какова величина температурнаго градіента въ области инверсіи. Изъ наблюденій на станціи Uccle видно, что, въ нѣкоторыхъ случаяхъ, градіентъ этотъ равенъ нулю, т. е. шаръ проходитъ поясъ вполнѣ однообразной температуры; въ другихъ случаяхъ, онъ достигаетъ 0°.2, 0°.3 и болѣе на 100 метровъ поднятія. Наибольшій градіентъ отмѣченъ 7 іюня 1906 года:

на высотѣ	11460 метровъ температура . . .	—65°.2
» »	11960 » » . . .	— 61.6
разность	500 »	3.6,

что составляетъ +0°.72 на 100 метровъ.

Другой случай 5 іюля 1906 года:

на высотѣ	9829 м. температура . . .	—57°.2
» »	10592 » » . . .	—54.2
разность	763 »	3.0,

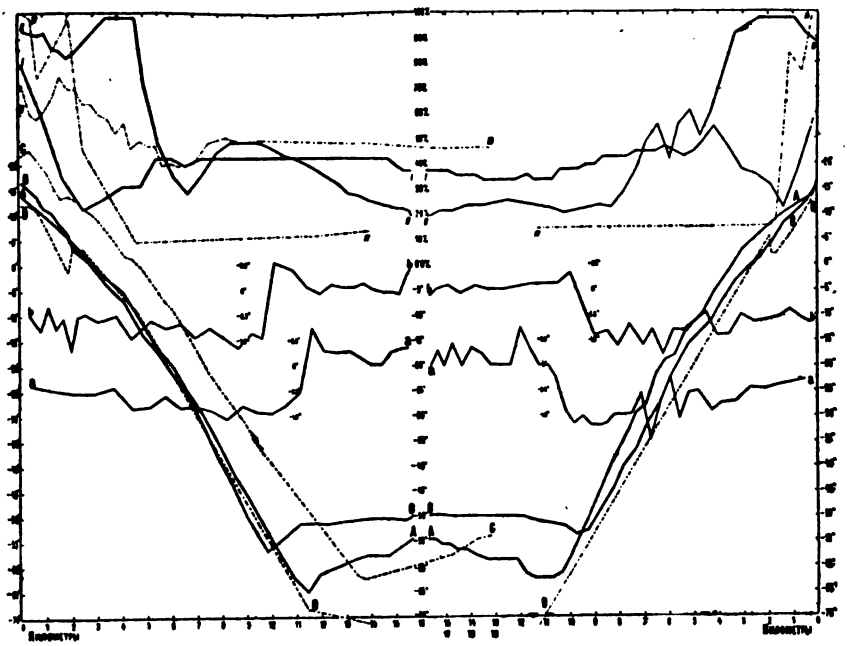
что составляетъ 0°.39 на 100 метровъ.

На фиг. 191 дана копія діаграммы Teisserenc de Bort'a [1]). Діаграмма эта представляетъ высоту, на которой встрѣчаются, въ различныя времена года, изотермы 0°, —25°, —40° и —50°. Внизу отмѣчены дни поднятій и соотвѣтствующія температуры на поверхности. На основаніи этой діаграммы, Teisserenc de Bort заключаетъ, что, до высоты 10 километровъ, обнаруживается *годовой* ходъ въ измѣненіяхъ температуры: наиболѣе низкія температуры падаютъ на начало весны, наиболѣе высокія — на начало осени. Весьма вѣроятно, что подобнымъ распредѣленіемъ температуры объясняется неустойчивость погоды ранней весною. Въ это время, въ высокихъ слояхъ находится болѣе холодный,

[1]) Teisserenc de Bort. Sur la température et ses variations dans l'atmosphère libre. Comptes-Rendus de l'académie des sciences. Le 21 août 1899.

Digitized by Google

а слѣдовательно, болѣе плотный воздухъ, что влечетъ за собою неустойчивое равновѣсіе атмосферы и возможность рѣзкихъ перемѣнъ погоды. Но изученіе *годовыхъ* колебаній осложняется тѣмъ, что, въ болѣе высокихъ слояхъ атмосферы, происходятъ



Фиг. 190.

огромныя измѣненія температуры на одномъ и томъ же уровнѣ при переходѣ отъ одного мѣсяца къ другому. Эти измѣненія можно видѣть изъ слѣдующей таблицы, напечатанной на стран. 610—611, въ которой приведены результаты 14 поднятій изъ Lindenberg'a въ 1905 году. Въ первомъ горизонтальномъ ряду даны числа и мѣсяцы поднятій (мѣсяцы, начиная съ января, отмѣчены римскими цифрами), а въ первомъ вертикальномъ — высоты въ километрахъ. Изъ этой таблицы видно, что, напримѣръ, на высотѣ 10 километровъ температура колебалась отъ —34°.3 (7 іюня) до —70°.8 (3 августа). Даже на высотѣ 15 километровъ возможны еще колебанія отъ —39°.3 (5 октября) до —75°.1 (4 апрѣля). Но мало того. Наблюденія обнаружили, что, въ болѣе высокихъ слояхъ, возможны въ короткое время, при переходѣ отъ одного *дня* къ другому, такія колебанія тем-

Digitized by Google

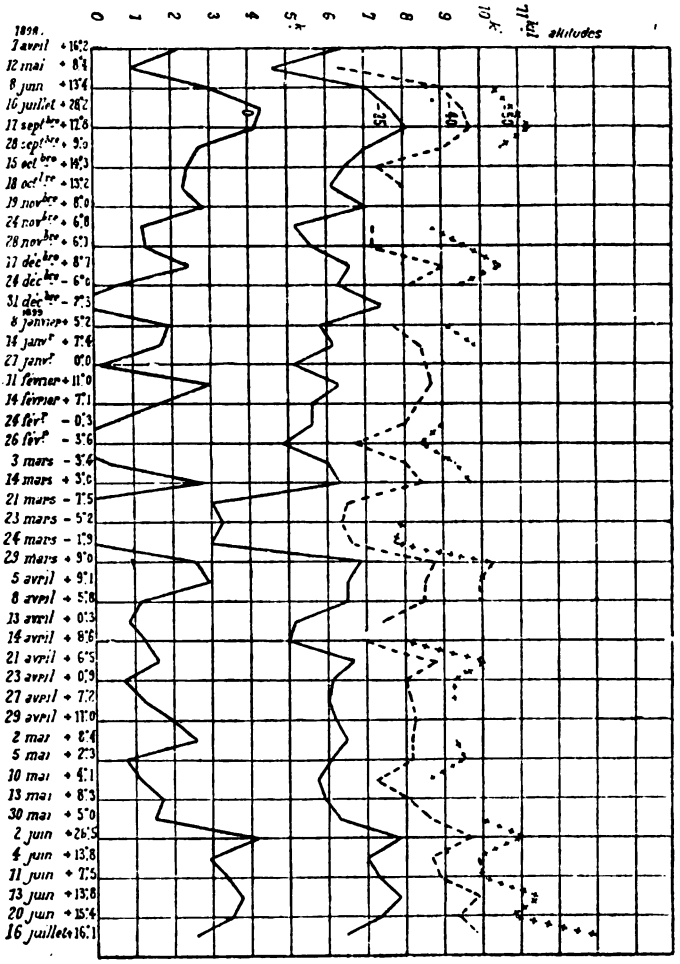
	9/II	2/III	4/IV	11/V	7/VI	3, VIII	29/VIII
0.5	—0.5	0.0	0.8	12.4	14.2		10.6
1.0	—0.8	—1.7	—1.1	10.6	13.4	8.3	7.2
1.5	—2.0	—5.0	—3.1	8.6	11.2		4.2
2.0	—2.8	—7.7	—4.9	6.7	8.9	1.2	0.6
2.5	—3.7	—12.3	—7.2	4.1	6.7		—3.0
3.0	—6.4	—16.2	—6.3	1.8	3.5	—1.6	—4.2
4.0	—13 2	—21.3	—7.6	—3.1	—1.7	—11.4	—9.3
5.0	—19.3	—26.6	—13.5	—8.1	—5.6	—17.3	—12.6
6.0	—26.0	—35.5	—20.8	—13.4	—10.3	—24.4	—16.7
7.0	—33.6	—40.4	—29.5	—19.1	—14.3	—33.6	—21.4
8.0	—43.5	—45.7	—37.1	—24.5	—19.2	—45.1	—26.0
9.0	—52.5	—51.0	—43.3	—32.8	—26.8	—59.4	—30.8
9.5	—54.3						
10.0		—53.0	—49.9	—40.9	—34.3	—70.8	—36.7
11.0		—56.0	—56.3	—47.7	—42.2	—66.5	—40.8
11.5							
12.0		—56.1	—62.5	—55.8	—48.4	—61.2	—44.1
12.5							
13.0		—56.5	—67.0	—60.0	—56.0	—59.7	—46.3
13.5				—60.0		—57.8	
14.0		—56.3	—72.5		—58.2		—47.6
15.0		—56.1	—75.1		—57.9		—48.7
15.5			—76.0				
16.0		—56.1			—55.9		—49.4
16.5					—55.0		
17.0		—56.0					—50.0
18.0		—55.9					—50.0
18.5							
19.0		—55.8					—50.0
20.0		—55.8					—51.0
20.5							—52.0
21.0		—56.1					
21.5		—56.2					

Digitized by Google

30/VIII	31/VIII	5/X	16/X	16/X	9/XI	14/XI	7/XII
12.6	9.4	7.0	3.2	6.4	7.0	—1.8	
9.9	6.9	3.4	—0.4	2.9	6.4	—4.0	—5.2
6.9	5.2	—1.2	—2.6	—2.1	3.3	—5.8	
3.8	2.0	—6.2	—5.4	—5.0	—1 2	—7.8	—9.9
0.8	0.7	—8.0	—8.6	—7.8	—3.3	—9 5	
—2.4	—1.0	—10.6	—11.0	—10.6	—5.9	—13.8	—16.3
						—17.0	
—9.2	—5.1	—16.0	—17.6	—18.5	—11.5	—17.3	—22.0
							—25.6
—16.9	—10.4	—21.7	—22.4	—26.5	—17.9	—24.6	
—25.7	—15.4	—29.6	—27.1	—35.2	—24.4	—31.3	
—35.0	—19.8	—36.8	—30.8	—39.9	—32.3	—38.6	
—44.5	—27.2	—41.9	—34.9	—43.2	—40.3	—47.2	
—54.5	—34.9	—39.5	—36.4	—45.5	—48.2	—53.6	
—56.8							
—53.3	—42.8	—39.0	—36.6	—46.7	—50.0	—57.0	
—51.3	—46.1	—37.0	—37.5	—47.3	—48.9	—54.0	
						—52.0	
—50.8	—39.7	—37.5	—40.2	—47.8	—48.0	—52.8	
						—54.0	
—50.6	—38.7	—38.7	—40.3	—48.0	—48.0		
—51.4	—33.0	—39.7	—41.8	—48.2	—48.0		
—54.7		—39.3	—42.1		—48.0		
					—48.0		
—53.3		—40.7	—41.5				
		—42.4					
—52.4			—42.0				
			—43.6				
			—41.0				

Digitized by Google

пературы, которыя совершенно не встрѣчаются въ нижнихъ слояхъ земной атмосферы. Таковы колебанія, отмѣченныя въ Lindenberg'ѣ 28—31 августа 1905 года[1]). Температура на вы-



Фиг. 191.

сотѣ 10.2 километра отъ 28 до 30 августа измѣнилась отъ —20° до —57°, т. е. на 37°.

---

[1]) Kurt Wegener. Bericht über die während der Tage vom 28 bis 31 August 1905 am Aeronautischen Observatorium ausgeführten Aufstiege. Ergebnisse der Arbeiten des Aeron. Observatoriums bei Lindenberg. I Band. S. 116.

Digitized by Google

На фиг. 192 представлено распредѣленіе температуры 28—31 августа 1905 года на различныхъ высотахъ по системѣ изоплетъ. По горизонтальной линіи отложены равныя части, выражающія дни и часы; на вертикальной оси — высоты въ километрахъ; затѣмъ проведены кривыя равныхъ температуръ. Если будемъ итти по вертикальной прямой, соотвѣтствующей какому-нибудь дню, то получимъ температуры воздуха на различныхъ высотахъ; если же станемъ перемѣщаться по горизонтальной прямой, соотвѣтствующей какой нибудь высотѣ, то найдемъ температуры, господствовавшія на этой высотѣ въ теченіе 28—31 августа. Изъ этой діаграммы видно, что въ указанные дни, надъ Lindenberg'омъ, на высотѣ 9 и 15 километровъ, существовали *замкнутыя* области низкихъ температуръ (—57° и 54°).

Мощность слоя инверсіи остается пока неизвѣстной.

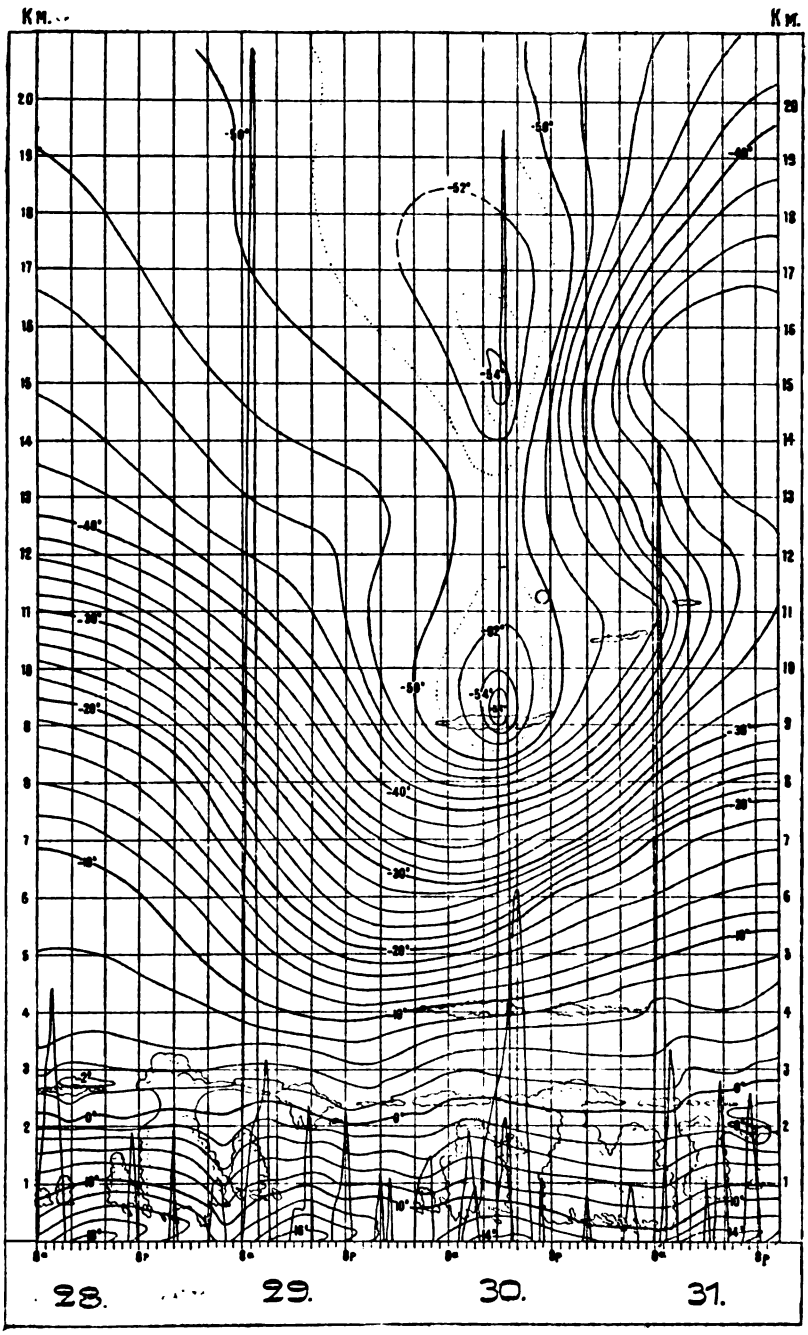
Столь же значительныя измѣненія температуры констатированы также во время воздушныхъ поднятій 2 и 4 апрѣля 1905 года изъ Берлина:

	температуры		
высота въ метрахъ	2 апрѣля	4 апрѣля	измѣненіе температуры
40	4°	6°	+2°
500	3	3	0
1000	—3	—1	—2
1500	—7	—3	—4
2000	—12	—5	—7
2500	—14	—5	—9
3000	—17	—6	—11
3500	—21	—8	—13
4000	—25	—9	—16.

3 августа 1905 года резиновый шаръ, выпущенный изъ Страсбурга, достигъ огромной высоты 25800 метровъ. Минимумъ температуры (—62°.7) отмѣченъ на высотѣ 14490 метровъ; далѣе началась инверсія и на высотѣ 25800 метровъ термометръ повысился до —40°, т. е. термометрическій градіентъ равнялся, среднимъ числомъ, 0°.16 на каждые 100 метровъ вертикальнаго поднятія [1]).

[1]) Fényi. Zur Erklärung der grossen Inversion. Meteorologische Zeitschrift. August 1907, S. 355.

Digitized by Google



Фиг. 192.

Digitized by Google

Наиболѣе низкія температуры въ высокихъ, доступныхъ наблюденію, слояхъ атмосферы. Различные подъемы изъ Trappes'a дали —69°.0, — 71°.4, —72°.9 и —73°.8 (послѣднее число на высотѣ 14300 м.). На станціи Uccle получено —72°.0 (на высотѣ 11252 м.). Въ обсерваторіи Lindenberg отмѣчено —73°.0 (3 августа 1905 г., на высотѣ 10200 м.) и —76°.0 (4 апрѣля 1905 г. на высотѣ 15600 м.). Въ настоящее время найдены еще болѣе низкія числа. Rotch въ St.-Louis получилъ 25 декабря 1905 года, на высотѣ 14800 метровъ, температуру —85°.6. Въ Вѣнѣ отмѣчено въ 1905 году:

2 марта на высотѣ 9717 метровъ . . . . —85°.4
4 апрѣля » » 11010 » . . . . — 79.6 [1]).

Въ виду интереса, который представляютъ эти поднятія, приведемъ здѣсь самыя наблюденія:

высота	2 марта		4 апрѣля	
	температура	вертик. градіентъ	температура	вертик. градіентъ
190 м.	+ 2°.2	—	3°.0	—
500 »	— 1.5	—1°.19	0.3	—0°.87
1000 »	— 3.0	—0.30	— 4.0	—0.86
1500 »	— 5.0	—0.40	— 8.4	—0.88
2000 »	—10.3	—1.06	— 9.2	—0.16
2500 »	—13.7	—0.68	—10.8	—0.32
3000 »	—16.9	—0.64	—11.1	—0.06
4000 »	—24.8	—0.79	—15.4	—0.43
5000 »	—37.6	—1.28	—21.8	—0.64
6000 »	—52.2	—1.46	—30.2	—0.84
7000 »	—68.2	—1.60	—39.5	—0.93
8000 »	—78.7	—1.05	—48.9	—0.94
9000 »	—82.7	—0.40	—60.3	—1.14
9717 »	—85.4	—0.34	—	—
10000 »	—84.9	+0.19	—69.4	—0.91
10379 »	—84.2	+0.19	—	—
11000 »	—	—	—79.5	—1.01
11362 »	—	—	—79.6	—0.03.

[1]) Nimführ. Sehr tiefe Temperaturen in grossen Höhen der atmosphäre. Meteorologische Zeitschrift. 1905. Juli-Heft, S. 289.

Digitized by Google

Такимъ образомъ, инструментально измѣренныя температуры на земной поверхности колеблятся отъ $+70^0$ (на днѣ буровой скважины въ Paraschuwitz'ѣ) и $-85^0.4$, т. е. въ предѣлахъ $155^0.4$.

Аналитическое выраженіе закона паденія температуры въ функціи высоты. Въ настоящее время предложено нѣсколько формулъ для выраженія закона паденія температуры съ высотою. Но, очевидно, что, вслѣдствіе сложности и измѣнчивости явленій, не можетъ существовать формулы, выражающей *общій* законъ пониженія температуры съ высотою. Возможны формулы, выражающія отдѣльные ряды наблюденій и изъ этихъ рядовъ могутъ быть вычислены ихъ постоянные коэффиціенты. Общая формула невозможна еще и потому, что въ отдѣльныхъ случаяхъ наблюдаются, какъ мы видѣли, значительныя аномаліи, замаскировывающія правильный ходъ явленія (обращеніе температуры, пластинчатость, необычайно быстрое паденіе температуры и т. под.). Тѣмъ не менѣе, такія формулы были предложены и перечень главнѣйшихъ изъ нихъ можно найти въ сочиненіи Bauernfend'a, указанномъ выше на стран. 166. Формулы эти представляютъ огромный интересъ для астрономовъ при вычисленіи величины астрономической рефракціи. Теоретическія же соображенія о термодинамикѣ атмосферы, въ связи съ наблюденіями прусскаго аэродинамическаго общества, можно найти въ работахъ Бецольда, указанныхъ въ послѣднемъ параграфѣ настоящей главы.

Распредѣленіе давленія въ болѣе высокихъ слояхъ атмосферы. Въ главѣ II (стран. 140) приведена формула, дающая возможность вычислить давленіе на различныхъ высотахъ. По вычисленію Hann'a:

высота въ километрахъ	0	10	20	50	100
средняя температура.	10^0	$-18^0.5$	-38^0	-60^0	-80^0
давленіе въ мм. . .	760	199.4	42·2	0.32	0.0012

Сравнимъ эти числа, найденныя при нѣкоторыхъ среднихъ допущеніяхъ, съ результатами, полученными во время поднятій шаровъ-зондовъ изъ Lindenberg'a въ 1905 году:

Digitized by Google

	высота	давленіе	температура
2 марта . . .	10288 м.	180 мм.	—54°.0
4 апрѣля. . .	10012 »	200 »	—50.0
11 мая. . . .	10339 »	200 »	—43.5
7 іюня . . .	10390 »	200 »	—37.6
3 августа . .	10094 »	192 »	—71.5
29 » . .	10055 »	200 »	—37.0
30 » . .	10015 »	192 »	—53.0
31 » . .	10646 »	185 »	—48.0
5 октября . .	10240 »	185 »	—39.3
16 » . .	10947 »	170 »	—37.5
9 ноября. . .	10182 »	180 »	—50.6
14 » . .	10205 »	180 »	?
2 марта . . .	19896 »	40 »	—55.8
» » . . .	21733 »	30 »	—56.2
29 августа . .	20730 »	40 »	—52.0
16 октября . .	20265 »	40 »	—48.0
» » . .	21140 »	35 »	—46.0
» » . .	22150 »	30 »	?

На горныхъ станціяхъ среднія давленія слѣдующія:

	высота	январь	іюль
St.-Bernard . .	2476 мм.	561.2	568.5
Sonnblick. . .	3106 »	516.4	525.4
Pikes Peak . .	4308 »	444.3	459.2.

Whymper, на вершинѣ Chimborazo, наблюдалъ 4 января 1880 года —356.4 мм., а 3-го іюля того же года — 358.1 мм. На Kamerum-Pick (4071 м.) въ мартѣ 1898 года отмѣчено 471.2 мм.

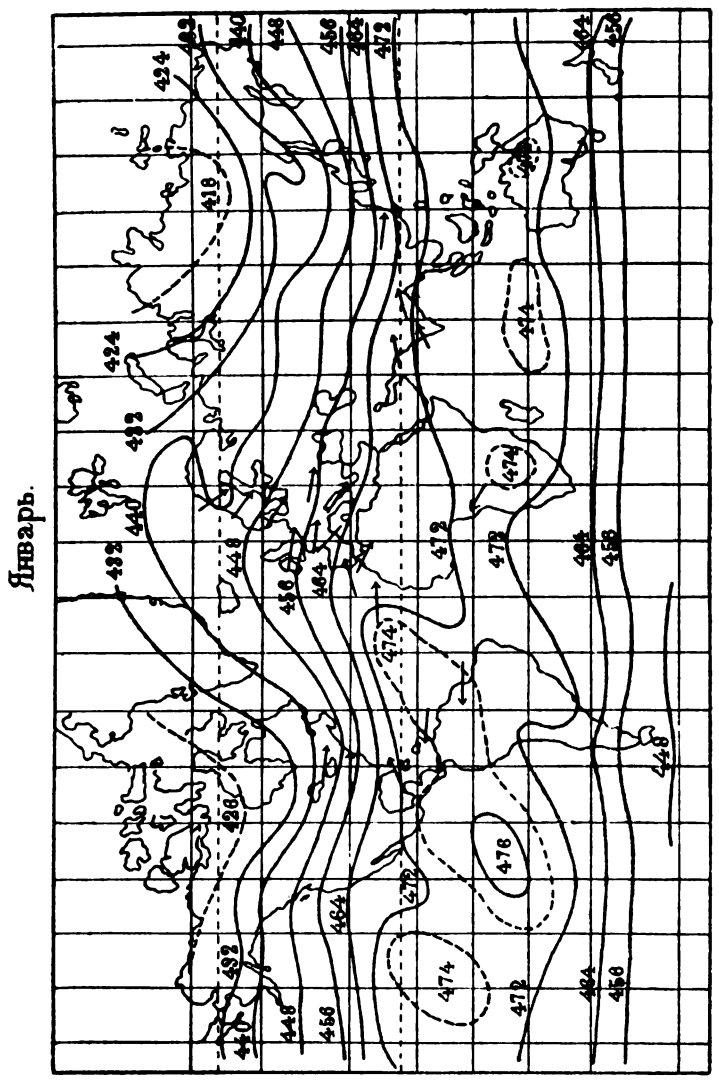
Давленія во время воздушныхъ поднятій съ наблюдателями изъ Lindenberg'a въ 1905 году:

9 февраля	7009 м.	312.0 мм.
11 мая	5761 »	371.2 »
6 іюля	3223 »	513.5 »
30 августа	6046 »	347.0 »
7 декабря	6416 »	335.8 »

По мѣрѣ поднятія надъ земной поверхностью давленіе не только уменьшается, но измѣняются также законы его распр-

Digitized by Google

дѣленія. Teisserenc de Bort составилъ карты распредѣленія давленія на уровнѣ, лежащемъ на высотѣ 4000 метровъ (фиг. 193 и 194). Изъ этихъ картъ видно, что въ январѣ поясъ наиболѣе

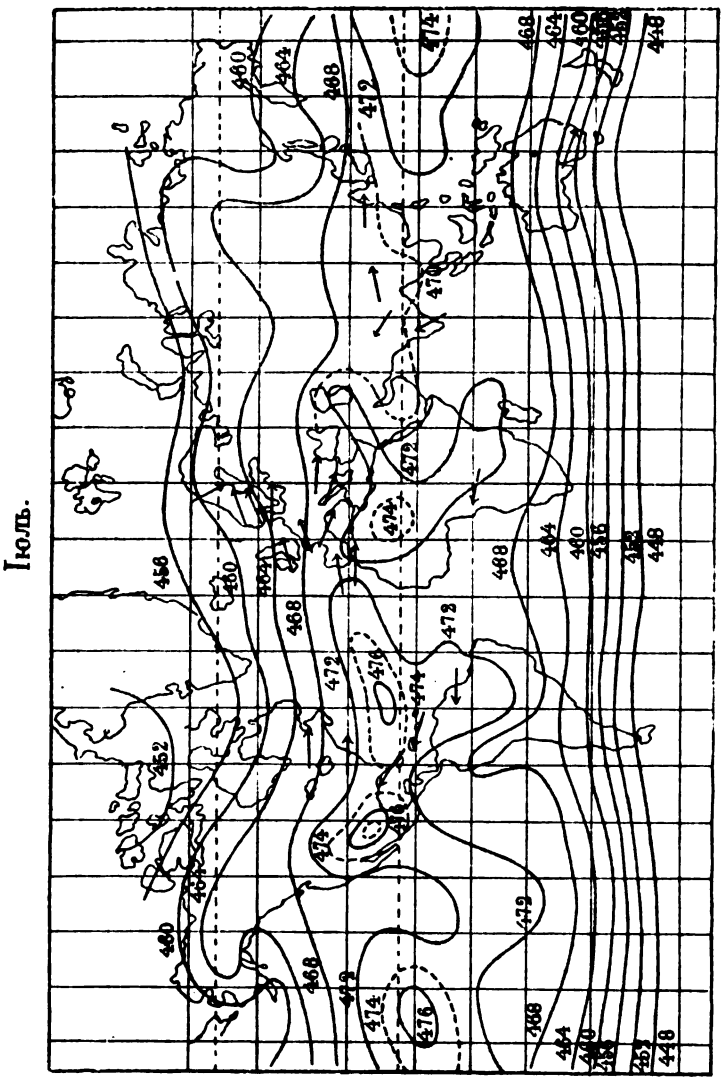


Фиг. 193.

высокихъ давленій (472—474 мм.) расположенъ вдоль экватора. Къ сѣверу и къ югу давленіе убываетъ, хотя не вполнѣ равно-

Digitized by Google

мѣрно. Наиболѣе низкое давленіе (418 мм.) находится надъ сѣверомъ Азіи. Къ іюлю, вся эта система изобаръ перемѣщается

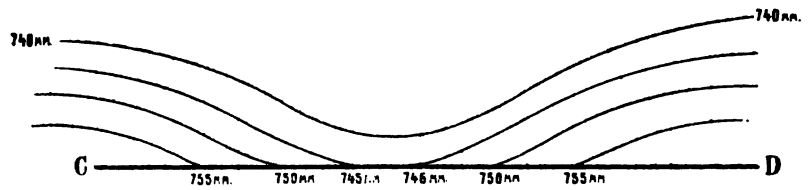


Фиг. 194.

къ сѣверу. Въ общемъ, распредѣленіе давленія на высотѣ 4000 метровъ гораздо равномѣрнѣе и проще, чѣмъ на земной поверхности.

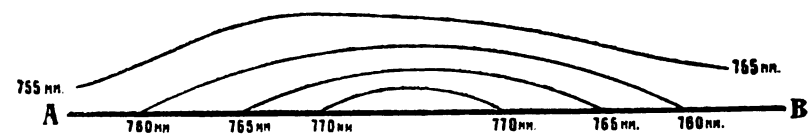
Digitized by Google

Если мысленно проведемъ въ атмосферѣ поверхности *одинаковаго давленія* (изобарическія поверхности) и прослѣдимъ ихъ теченіе, то замѣтимъ въ ихъ ходѣ крайнюю сложность и неправильность. Въ однихъ мѣстахъ эти поверхности, оставаясь параллельными между собою, могутъ имѣть нѣкоторый небольшой наклонъ къ земной поверхности; въ другихъ—онѣ образуютъ



Фиг. 195.

вогнутости, обращенныя къ земной поверхности (фиг. 195); въ третьихъ—изобарическія поверхности имѣютъ форму выпуклую къ верху (фиг. 196). Очевидно, что изобары, проведенныя на нашихъ картахъ, представляютъ слѣды, по которымъ изобарическія поверхности пересѣкаются съ поверхностью земли. Надъ замкнутой областью высокаго давленія, поверхности одинаковыхъ давленій представляютъ какъ бы своды, опирающіеся своими

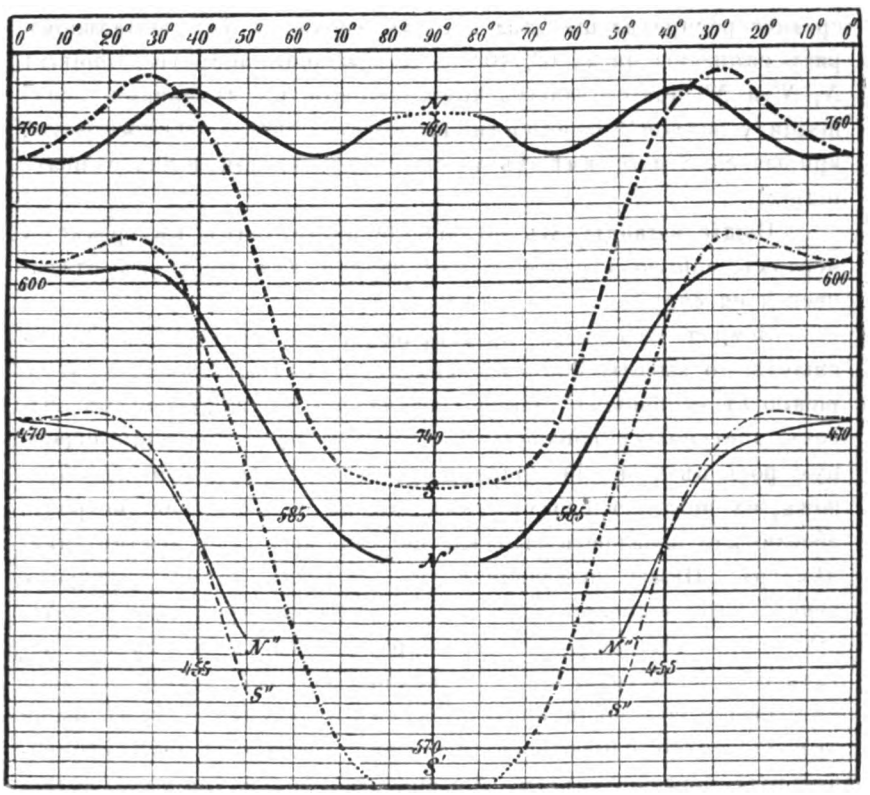


Фиг. 196.

основаніями на земную поверхность (фиг. 196). Надъ областями низкихъ давленій, эти поверхности имѣютъ видъ воронокъ (фиг. 195). Надъ экваторіальной областью слабыхъ давленій, изобарныя поверхности можно уподобить боковымъ скатамъ долины. Изъ хода изобаръ на нашихъ картахъ можно заключить, что, въ самыхъ нижнихъ слояхъ атмосферы, изобарическія поверхности имѣютъ весьма сложный видъ: выпуклость въ одномъ мѣстѣ переходитъ въ вогнутость въ другомъ; разстоянія между поверхностями, проведенными черезъ одно и тоже число миллиметровъ, весьма различны. Но, по мѣрѣ поднятія надъ земной поверхностью, этотъ барическій рельефъ сглаживается. Можно

Digitized by Google

предполагать, что въ болѣе высокихъ слояхъ окончательно исчезаютъ мѣстныя неправильности въ ходѣ изобарическихъ поверхностей и всѣ онѣ имѣютъ, согласно съ теоріей, наклонъ къ полюсу; наклонъ этотъ тѣмъ круче, чѣмъ ближе къ полюсамъ. Тѣ



Фиг. 197.

же результаты получимъ, если станемъ разсматривать среднія давленія по параллелямъ. Выше (стран. 511) даны числа, показывающія *среднее* давленіе на различныхъ параллеляхъ. Числа эти обнаружили, что вдоль экватора существуетъ поясъ слабаго давленія. Къ полюсамъ давленіе возрастаетъ до нѣкотораго максимума (около 30° широты). Далѣе, давленіе убываетъ къ полюсамъ и только въ околополярной области сѣвернаго полушарія давленіе опять слегка возрастаетъ. На высотѣ 2000 метровъ,

Digitized by Google

оба тропическіе максимумы сглажены и сдвинуты къ экватору; околополярный минимумъ исчезъ и давленіе уменьшается къ обоимъ полюсамъ. На высотѣ 4000 метровъ максимумъ находится на экваторѣ и давленіе, на обоихъ полушаріяхъ, неуклонно падаетъ къ полюсамъ. На фиг. 197 графически представлено среднее распредѣленіе давленія. Въ верхнемъ горизонтальномъ ряду написаны числа 0^0, 10^0,..., выражающія широты; кривыя N, N' и N'' представляютъ ходъ давленія въ сѣверномъ полушаріи у земной поверхности, на высотѣ 2000 и 4000 метровъ; кривыя S', S и S'' имѣютъ тѣ же значенія для южнаго полушарія.

Общіе выводы. Въ заключеніе представимъ, въ краткихъ чертахъ, общую характеристику земной атмосферы въ статической ея фазѣ.

Земная атмосфера простирается, въ метеорологическомъ смыслѣ, до высоты 300—400 километровъ. Составъ ея, по отношенію къ основнымъ газамъ, постояненъ до наибольшихъ высотъ, доступныхъ наблюденію. Водяные пары, играющіе огромную роль въ экономіи природы, сосредоточены, главнымъ образомъ, въ нижнихъ слояхъ, такъ что на высотѣ 6000 метровъ, абсолютная влажность выражается уже десятыми долями миллиметра. Пыль, плавающая въ воздухѣ, также образуетъ своего рода, пылевую атмосферу, простирающуюся до высоты 5000—6000 метровъ. Вся атмосфера, взятая въ ея цѣломъ, поглощаетъ извѣстную часть солнечной радіаціи, вслѣдствіе чего напряженіе солнечной инсоляціи тѣмъ интенсивнѣе, чѣмъ выше лежитъ мѣсто наблюденія. Атмосфера обнаруживаетъ избирательную поглощательную способность: болѣе длинныя волны поглощаются водяными парами и углекислотой. Лучъ свѣта несетъ намъ вѣсти о физическихъ явленіяхъ, совершающихся въ верхнихъ слояхъ нашей воздушной оболочки: загораніи метеоритовъ и полярныхъ сіяніяхъ. По мѣрѣ поднятія надъ земной поверхностью, постепенно измѣняются ея физическія свойства: свѣто- и тепло-прозрачность увеличиваются, а плотность и температура постепенно уменьшаются. Неравномѣрное давленіе у земной поверхности съ высотою постепенно сглаживается и замѣняется болѣе равномѣрнымъ распредѣленіемъ; начиная съ извѣстной высоты, существуетъ высокое давленіе въ экваторіальной зонѣ, которое постепенно уменьшается къ полюсамъ.

Digitized by Google

Температура, вопреки существовавшимъ прежде воззрѣніямъ, испытываетъ на высотѣ многихъ тысячъ метровъ еще весьма значительныя колебанія. Шары-зонды показали, что въ слояхъ, лежащихъ на высотѣ 9—11 километровъ, возможны еще измѣненія температуръ въ 10—15 и болѣе градусовъ на протяженіи двухъ-трехъ дней. На высотѣ отъ 8 до 14 километровъ, дальнѣйшее пониженіе температуры прекращается или даже переходитъ въ повышеніе. Мощность этого пояса инверсіи пока неизвѣстна. Въ наиболѣе высокихъ слояхъ, доступныхъ наблюденію, температура, по отмѣткамъ шаровъ-зондовъ, можетъ падать до —85°.

Литературныя указанія. Кромѣ приведенныхъ въ текстѣ работъ укажемъ еще слѣдующіе источники.

A) *Наблюденія горныхъ станцій.*

1) * Vallot. Annales de l'observatoire météorologique, physique et glaciaire du Mont Blanc. Paris. T. I—V.

2) * Jahresbericht des Sonnblick-Vereines. T. I—XIV. Въ этомъ журналѣ помѣщены разнообразныя наблюденія и изслѣдованія на Sonnblick'ѣ, начиная съ 1892 года.

3) * Résumé météorologique pour Génève et le Grand St.-Bernard съ 1901 года.

4) * Résumé des observations de la Commission météorologique du Puy-de-Dôme

5) * Hann. Beiträge zum täglichen Gange der meteorologischen Elemente in den höheren Luftschichten. Sitzungsb. der K. Ak. der Wiss. in Wien. Math.-nat. Classe; Bd. CIII, Abth. IIa. Jänner. 1894.

B) *Воздушныя поднятія и ихъ разработка.*

6) * A. Lawrence Rotsch. Blue Hill meteorological observatory.

7) * Hann. Ueber die Temperaturabnahme mit der Höhe bis zu 10 kilom. nach Ergebnissen der internationalen Ballonaufstiege. Wien. 1904.

Digitized by Google

8) * Brückmann. Ueber Temperaturinversion im sommerlichen Antizyklonen. Berlin. 1904.

9) * Фонъ-Бецольдъ. Теоретическій разборъ результатовъ научныхъ полетовъ германскаго общества поощренія воздухоплаванія. Спб. 1902.

C) *Журналы.*

10) * Журналы: a) Zeitschrift für Luftschiffahrt und Physik der Atmosphäre, red. von Berson;

b) Veröffentlichungen der Internationalen Kommission für Wissenschaftliche Luftschiffahrt, herausg. von Prof. Hergesell. Strassburg;

c) Beiträge zur Physik der freien Atmosphäre, herausg. von R. Assmann и H. Hergesell (съ 1904 года).

Интересующимся гигіеническимъ значеніемъ горнаго климата можно рекомендовать книгу:

11) * N. Zuntz. Fr. Müller und W. Caspari. Höhenklima und Bergwanderungen in ihrer Wirkung auf den Menschen. Berlin. 1906.

Объ устройствѣ змѣевъ см.

12) * Lecornu. Les cerfs volants. Paris.

13) * Рядъ статей академика Рыкачева и г.г. физиковъ Грибоѣдова, Коростелева и Савинова въ «Ежемѣсячномъ Бюллетенѣ Главной Физической обсерваторіи» за послѣдніе 10 лѣтъ.

14) * Константиновская Обсерваторія. Изслѣдованіе атмосферы. Вып. II. Спб 1907.

15) * Köppen. Bericht über die Erforschung der freien Atmosphäre mit Hülfe von Drachen. «Aus dem Archiv der deutschen Seewarte. XXIV». Jahrgang 1901. Hamburg. 1902.

Digitized by Google

XIV.

Аномальныя отклоненія.

Абсолютныя аномальныя отклоненія. Среднія аномальныя отклоненія. Законы компенсаціи Дове. Метеорологическая инерція. Изслѣдованія Кöppen'а. Приведеніе къ многолѣтнимъ среднимъ. Литературныя указанія.

Абсолютныя аномальныя отклоненія. Многіе выводы, изложенные въ предшествующихъ главахъ, получены методомъ среднихъ чиселъ. Вникнемъ глубже въ сущность этого метода и дадимъ себѣ отчетъ въ томъ, какъ слѣдуетъ смотрѣть на среднія числа и на различныя ихъ комбинаціи. Наглядности ради, обратимся къ частному примѣру. На стран. 626 напечатаны среднія мѣсячныя и годовыя температуры, вычисленныя на основаніи 30-лѣтнихъ наблюденій (1866—1895) въ Одессѣ. Общая средняя температура года равна 10°.1. Но, разсматривая послѣдній вертикальный столбецъ, мы замѣчаемъ, что, *въ отдѣльные годы*, средняя температура значительно уклонялась отъ 10°.1. Только два года (1868 и 1879) имѣли среднюю годовую температуру, равную 10°.1. Въ остальные же годы, температура колебалась отъ 8°.7 до 11°.3, т. е. въ предѣлахъ 2°.6. Еще болѣе значительныя колебанія замѣчаемъ въ среднихъ январскихъ температурахъ (отъ —10°.1 до 4°.2). Въ двухъ послѣднихъ строчкахъ той-же таблицы даны тѣ *крайнія* числа, въ предѣлахъ которыхъ колебались среднія мѣсячныя температуры въ Одессѣ за 30 лѣтъ; въ таблицѣ же, на стран. 627, приведены *величины* этихъ отклоненій для каждаго года отдѣльно. Изъ этихъ таблицъ видно, что среднія мѣсячныя температуры колебались въ Одессѣ, за 30 лѣтъ, въ слѣдующихъ предѣлахъ:

январь . . .	14°.3	іюль	5°.0
февраль . . .	11.4	августъ . . .	6.1
мартъ . . .	10.0	сентябрь . . .	7.0
апрѣль . . .	6.6	октябрь . . .	9.0
май	8.1	ноябрь	10.2
іюнь	6.6	декабрь . . .	14.8
	годъ . . .	2°.6.	

Digitized by Google

I. Среднія мѣсячныя температуры воздуха въ тѣни по Цельзію (1866—1895).

Мѣсяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Годъ
1866 . .	—0.7	—1.0	5.1	8.9	13.8	21.6	22.9	20.2	18.7	7.0	3.6	—0.9	9.9
1867 . .	2.7	1.5	—1.0	9.5	15.6	18.5	22.7	20.1	15 4	11.5	1.1	—0.5	9.8
1868 . .	—3.3	—3.1	1.5	7.6	15.6	21.9	22.4	22.2	18.9	12.9	2.9	1.5	10.1
1869 . .	—7.3	2.7	5.1	8 9	16.5	19.8	21.1	22.6	16.2	13.2	6.8	2.6	10.7
1870 . .	—0.1	—8.0	0.8	7.2	17.1	19 1	22.4	20.3	14.4	9.6	9.8	—1.1	9.3
1871 . .	—4.3	—5.5	1.0	8 3	14.1	19 6	23.8	22.9	15.8	7.8	7.1	—1.4	9.1
1872 . .	0.1	—7.5	3.7	11.8	21.3	20.2	22.2	22.1	19.0	12.3	8.4	1.9	11.3
1873 . .	1.5	—1.8	4.3	9.3	14.9	21.0	23 7	23.4	16.6	13.1	5.5	0.3	11.0
1874 . .	—1.8	—2.1	0.3	10.0	13.2	21.0	22 7	23.4	18 5	12.4	4.3	5.8	10.6
1875 . .	—2.8	—3.7	—4.0	5.9	15.8	25.0	23 6	21.4	14.2	10.4	5.4	—5.5	8.8
1876 . .	—7.0	—1.0	6.0	11.0	14.6	22.0	23.1	22.5	18.2	9.2	0.6	—1.5	9.8
1877 . .	—3.6	—2.1	3.1	8.7	15.7	21.2	21.1	23.0	15.8	9 0	5.6	0 1	9.8
1878 . .	—3.7	—0.9	2.4	9 4	15.8	21.0	20.4	21.3	19.4	15.0	10.8	4.0	11.2
1879 . .	—3.2	3.4	2.4	10.6	16.2	21.7	22.1	20.4	17.5	11.9	3 8	—5.1	10.1
1880 . .	—7.9	—6.1	—0.8	8.5	14.2	20.5	23.6	21.1	16.1	11.9	5.9	1.3	9.0
1881 . .	—4.8	—3.7	1.4	7.7	15.6	19.0	22.0	21.5	14.7	9.0	3.6	—1.5	8.7
1882 . .	0.0	—1.0	6.0	9.4	16.3	19.4	25.4	21.7	18.3	9.2	6.9	—0.7	10.9
1883 . .	—6.1	—5.7	—0.2	6.9	16.4	21.6	25.2	22.2	18.5	12.1	6 8	—1.1	9.7
1884 . .	—2.9	1.2	1.7	7 5	15.8	19.6	23.1	19.5	15.3	11.0	3.0	3.6	9.9
1885 . .	—4.8	—0.9	3.1	9.4	16.0	22.5	24.6	20.2	17.0	14.2	4.5	0.0	10.5
1886 . .	1.5	—3.4	0.4	9.4	16.5	20.5	20.9	22.0	17.6	10.1	6.7	7.3	10.8
1887 . .	—0.1	—3.5	3.1	8.4	18.1	18 4	22.7	21.9	19.8	11.1	7.7	3.3	10.9
1888 . .	—6.4	—5.5	2.5	10.5	16.3	19.7	22.1	21.3	17.1	12 0	2.5	—3.6	9.0
1889 . .	—7.7	—0.4	0.4	9.6	17.5	21.0	25.1	22 6	14.1	13.5	6.4	—4.7	9.8
1890 . .	—1.8	—4.6	4.7	11.3	17.2	18 7	24.7	25.6	17.1	10.5	6.0	—7.5	10.2
1891 . .	—5.4	—6.1	3.3	7.9	17.0	21.5	24.8	23.6	18 2	11.0	4 0	—0.2	10.0
1892 . .	—4.0	0.9	1.7	9.5	17.7	23.2	22.7	23.9	21.1	13 8	2.5	—1.6	10.9
1893 . .	—10.1	—2.5	2.4	5 2	14.2	19.5	22.5	22.0	16.5	12.6	6.5	—0.1	9.1
1894 . .	—6.1	—0.2	3.5	9.3	14.9	18.5	24.3	22.8	15.2	12.3	2.9	—0.5	10.3
1895 . .	4.2	—0.9	2.6	9.0	15.0	20.4	25.3	22.7	16.9	13.4	5 3	—2.9	10.9
среднее .	—3.2	—2.4	2.2	8.9	16.0	20.6	23.1	22.0	17.1	11.4	5.2	—0.3	10.1
maximum	4.2	3.4	6.0	11.8	21.3	25.0	25.4	25.6	21.1	16.0	10.8	7.3	11.3
minimum	—10.1	—8.0	—4.0	5.2	13.2	18.4	20.4	19.5	14.1	7.0	0.6	—7.5	8.7

Digitized by Google

II. Отклоненія среднихъ мѣсячныхъ температуръ отъ общихъ среднихъ.

Мѣсяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Годъ
1866 . .	2.5	1.4	2.9	0.0	—2 2	1.0	—0.2	—1.8	1.6	—4.4	—1.6	—0.6	—0.2
1867 . .	5.9	3 9	—3 2	0.6	—0 4	—2.1	—0.4	—1.9	—1.7	0.1	—4.1	—0.2	—0.3
1868 . .	—0.1	—0 7	0.7	—1.3	—0 4	1.3	—0.7	0.2	1.8	1.5	—2.3	1.8	0.0
1869 . .	—4.1	5.1	2.9	0.0	0.5	—0.8	—2.0	0.6	—0.9	1.8	1.6	2.9	0.6
1870 . .	3.1	—5.6	—1.4	—1.7	1.1	—1.5	—0.7	—1.7	—2.7	—1.8	4.6	—0.8	—0.8
1871 . .	—1.1	—3.1	—1.2	—0.6	—1.9	—1.0	0.7	0.9	—1.3	—3.6	1.9	—1.1	—1.0
1872 . .	3.3	—5 1	1.5	2 9	5.3	—0.4	—0.9	0.1	1.9	0.9	3.2	2.2	1.2
1873 . .	4.7	0 6	2.1	0.4	—1.1	0.4	0.6	1.4	—0.5	1.7	0.3	0.6	0.9
1874 . .	1 4	0.3	—1.9	1.1	—2.8	0.4	—0.4	1.4	1.4	1.0	—0.9	6.1	0.5
1875 . .	0.4	—1.3	—6.2	—3 0	—0.2	4.4	0.5	—0.6	—2 9	—1.0	0.2	—5.2	—1.3
1876 . .	—3.8	1 4	3.8	2.1	—1.4	1.4	0.0	0.5	1.1	—2.2	—4.6	—1.2	—0.3
1877 . .	—0 4	0 3	0.9	—0.2	—0.3	0.6	—2.0	1.0	—1.3	—2.4	0.4	0.4	—0.3
1878 . .	—0.5	1.5	0.2	0.5	—0.2	0.4	—2.7	—0.7	2 3	3.6	5.6	4.3	1.1
1879 . .	0.0	5 8	0.2	1.7	0.2	1.1	—1.0	—1.6	0.4	0.5	—1.4	—4.8	0.0
1880 . .	—4 7	—3.7	—3.0	—0.4	—1.8	—0.1	0.5	—0.9	—1.0	0.5	0.7	1.6	—1.1
1881 . .	—1.6	—1.3	—0.8	—1.2	—0.4	—1.6	—1.1	—0.5	—2.4	—2.4	—1.6	—1.2	—1.4
1882 . .	3.2	1.4	3.8	0.5	0.3	—1.2	2.3	—0.3	1.2	—2.2	1.7	—0.4	0.8
1883 . .	—2.9	—3.3	—2.4	—2.0	0.4	1.0	2.1	0.2	1.4	0.7	1.6	—0.8	—0.4
1884 . .	0.3	3.6	—0.5	—1.4	—0.2	—1.0	0.0	—2.5	—1.8	—0.4	—2.2	3.9	—0.2
1885 . .	—1.6	1.5	0.9	0.5	0.0	1.9	1.5	—1.8	—0.1	2.8	—0.7	0.3	0.4
1886 . .	4.7	—1.0	—1.8	0.5	0.5	—0.1	—2.2	0.0	0.5	—1.3	1.5	7.6	0.7
1887 . .	3.1	—1.1	0.9	—0.5	2.1	—2.2	—0.4	—0.1	2.7	—0.3	2.5	3.6	0.8
1888 . .	—3 2	—3.1	0.3	1.6	0.3	—0.9	—1.0	—0.7	0.0	0.6	—2.7	—3.3	—1.1
1889 . .	—4 5	2.0	—1.8	0.7	1.5	0.4	2.0	0.6	—3.0	2.1	1.2	—4 4	—0.3
1890 . .	1.4	—2.2	2.5	2.4	1.2	—1.9	1.6	3.6	0.0	—0.9	0.8	— 7.2	0.1
1891 . .	—2.2	—3.7	1.1	—1.0	1.0	0.9	1.7	1.6	1.1	—0.4	—1.2	0.1	—0.1
1892 . .	—0.8	3.3	—0.5	0.6	1.7	2.6	—0.4	1.9	4.0	2.4	—2.7	—1.3	0.8
1893 . .	—6 9	—0 1	0.2	—3.7	—1.8	—1.1	—0.6	0.0	—0.6	1.2	1.3	0.2	—1.0
1894 . .	—2.9	2.2	1.3	0.4	—1.1	—2.1	1.2	0.8	—1.9	0.9	—2.3	—0.2	0.2
1895 . .	7.4	1.5	0.1	0.1	—1.0	—0.2	2.2	0.7	—0.2	2.0	0.1	—2.6	0.8

Digitized by Google

Числа эти показываютъ, что предѣлы колебаній мѣсячныхъ среднихъ гораздо больше, чѣмъ годовыхъ.

Еще болѣе значительные размахи совершаютъ, отъ одного года къ другому, *суточныя* среднія.

Такимъ образомъ, среднія числа представляютъ собою нѣкоторыя *фиктивныя* величины; но эти фиктивныя величины, тѣмъ не менѣе, тѣсно связаны съ *дѣйствительными* ходомъ явленій. Каждое среднее число можно разсматривать, какъ положеніе равновѣсія, около котораго дѣйствительное явленіе совершаетъ колебанія въ ту и другую сторону съ нѣкоторой перемѣнной амплитудой.

Отклоненія дѣйствительныхъ величинъ явленія отъ общаго ихъ средняго будемъ называть *аномальными* отклоненіями. Очевидно, что, для характеристики климатическаго режима извѣстной мѣстности, недостаточно имѣть *среднія* числа; необходимо знать еще аномальныя отклоненія, т. е. предѣлы, въ которыхъ эти среднія совершаютъ свои колебанія. Можно, безъ значительной погрѣшности, допустить, что крайнія, положительныя и отрицательныя, отклоненія одинаково вѣроятны; при такомъ допущеніи, средняя январская температура въ Одессѣ ($-3^0.2$) совершаетъ, въ отдѣльные годы, свой размахъ въ предѣлахъ отъ $-3^0.2-7^0.1=-10^0.3$ до $3^0.2+7^0.1=3^0.9$ (дѣйствительные предѣлы въ теченіе 30 лѣтъ $-10^0.1$ и $4^0.2$). Отсюда ясно, что, для полноты климатической характеристики, необходимо, къ средней величинѣ, присоединять еще величину указанныхъ полуколебаній. На этомъ основаніи, среднія мѣсячныя температуры въ Одессѣ выразятся слѣдующими числами:

январь . . .	$-3^0.2\pm7^0.1$	іюль . . .	$23^0.1\pm2^0.5$
февраль . . .	-2.4 ± 5.7	августъ . .	22.0 ± 3.0
мартъ . . .	2.2 ± 5.0	сентябрь . .	17.1 ± 3.5
апрѣль . . .	8.9 ± 3.3	октябрь . .	11.4 ± 4.5
май	16.0 ± 4.0	ноябрь . . .	5.2 ± 5.1
іюнь	20.6 ± 3.3	декабрь . .	0.3 ± 7.4
	годъ	$10^0.1\pm1^0.3$.	

Каждое изъ этихъ полуколебаній назовемъ *абсолютнымъ* аномальнымъ отклоненіемъ. Ясно, что для полученія болѣе точнаго абсолютнаго отклоненія необходимо имѣть возможно болѣе продолжительный рядъ наблюденій. Величина же абсолютнаго

Digitized by Google

аномальнаго отклоненія служитъ характеристикой большей или меньшей устойчивости климатическаго режима извѣстной мѣстности [1]).

Среднія аномальныя отклоненія. Рядомъ съ абсолютнымъ аномальнымъ отклоненіемъ вводятъ также понятіе о *среднемъ* аномальномъ отклоненіи. Среднее аномальное отклоненіе получится, если мы вычислимъ отклоненія отдѣльныхъ годовыхъ температуръ отъ общаго средняго и найдемъ среднее полученныхъ разностей (независимо отъ знака). Среднее аномальное отклоненіе года въ Одессѣ, опредѣленное по этому методу, равно $\pm 0^0.64$, т. е. средняя температура отдѣльнаго года въ Одессѣ можетъ, среднимъ числомъ, отличаться отъ многолѣтней на величину равную $\pm 0^0.64$. Среднее аномальное отклоненіе года для большаго числа пунктовъ Россіи найдено Вильдомъ; имъ же сдѣлана попытка построенія картъ изометаболей (кривыя равныхъ среднихъ отклоненій [2]). Изъ таблицъ Вильда [3]) видно, что годовое аномальное отклоненіе меньше вблизи морей и въ болѣе южныхъ странахъ; годовое отклоненіе, близкое къ $\pm 0^0.64$, имѣютъ, кромѣ Одессы, слѣдующіе пункты: Гаммерфестъ (± 0.61), Варде ($\pm 0^0.60$), Упсала ($\pm 0^0.68$), Киль ($\pm 0^0.68$), Берлинъ ($\pm 0^0.65$), Базель ($\pm 0^0.60$). Въ Мадридѣ и Лиссабонѣ годовыя отклоненія равны соотвѣтственно $\pm 0^0.27$ и $\pm 0^0.20$, т. е. средней температурѣ года въ этихъ двухъ пунктахъ свойственна извѣстная характеристика, сравнительно мало измѣняющаяся при переходѣ отъ одного года къ другому. Максимумъ годовыхъ отклоненій ($\pm 1^0.0$) находится въ сѣверной части западной и средней Сибири, а также надъ Бѣлымъ моремъ и сѣверной Финляндіей. Точно также можно опредѣлить среднія аномальныя отклоненія среднихъ мѣсячныхъ. Эти отклоненія въ Одессѣ, на основаніи 30-лѣтнихъ наблюденій (1866—1895 гг.), слѣдующія:

---

[1]) Если абсолютныя аномальныя отклоненія отдѣльныхъ явленій слишкомъ велики, то среднее ихъ теряетъ всякій смыслъ. Вообще, оперированіе средними числами требуетъ величайшей осмотрительности. При помощи неосторожнаго комбинированія средними числами можно получить, по одному и тому же вопросу, разнообразные результаты.

[2]) Wild. Die Temperatur-Verhältnisse d. Russischen Reichs. St.-Petersburg. 1880. Atlas.

[3]) Ibid. 2 Hälfte, S. 263.

Digitized by Google

январь	±2°.44	іюль	±1°.09
февраль	± 2.50	августъ	± 1.08
мартъ	± 1.83	сентябрь . . .	± 1.52
апрѣль	± 1.09	октябрь	± 1.62
май	± 1.10	ноябрь	± 1.98
іюнь	± 1.20	декабрь	± 2.52

Въ ходѣ средняго мѣсячнаго отклоненія замѣтенъ годовой періодъ; наибольшей величины оно достигаетъ въ декабрѣ (±2°.52), а наименьшей—въ августѣ (±1°.08); слѣдовательно, въ декабрѣ менѣе всего можемъ расчитывать на извѣстныя температурныя условія, опредѣляемыя средними числами. Изъ таблицъ Вильда видно, что въ Европѣ, вообще, максимумъ аномальныхъ отклоненій падаетъ на декабрь—февраль, минимумъ—на май—октябрь; наиболѣе постоянный, въ разсматриваемомъ смыслѣ, мѣсяцъ на берегахъ Балтійскаго моря, въ Англіи и средней Германіи—сентябрь; въ Швейцаріи и Франціи—октябрь; въ сѣверо-восточной Россіи и южной части западной Сибири—августъ; въ средней Россіи и средней Сибири, на Уралѣ и по сѣвернымъ берегамъ Чернаго моря—іюль, а въ Одессѣ, въ частности,—августъ; въ Польшѣ и въ сосѣднихъ съ ней частяхъ Германіи, Богеміи, средней Австріи—іюнь; въ Крыму—май [1]).

Среднее аномальное отклоненіе даетъ также возможность вычислить *вѣроятную* ошибку найденныхъ нами мѣсячныхъ среднихъ. Извѣстно, что вѣроятная ошибка F вычисляется по формулѣ Гаусса:

$$F=0.6745\sqrt{\frac{\Sigma v^2}{n(n-1)}},$$

гдѣ Σv^2—сумма квадратовъ отклоненій, а n—число періодовъ, изъ которыхъ опредѣлены средніе. Фехнеръ показалъ, что формулу эту можно, приблизительно, замѣнить другою:

$$F=1.1955\frac{\Sigma v}{n\sqrt{2n-1}}. \qquad (1)$$

[1]) Ibid. S. 259.

Digitized by Google

Но $\frac{\Sigma v}{n}$ есть не что иное, какъ среднее аномальное отклоненіе, которое мы обозначимъ черезъ V; слѣдовательно,

$$F=1.1955\,\frac{V}{\sqrt{2n-1}}. \qquad (2)$$

По этой формулѣ найдены нами *вѣроятныя* погрѣшности мѣсячныхъ среднихъ въ Одессѣ:

январь	$\pm 0^0.40$	іюль	$\pm 0^0.18$
февраль	± 0.40	августъ . . .	± 0.18
мартъ	± 0.30	сентябрь	$\pm 0\,25$
апрѣль	± 0.18	октябрь	± 0.27
май	± 0.19	ноябрь	± 0.33
іюнь	± 0.20	декабрь	± 0.41
	годъ	$\pm 0^0.10$.	

Бо́льшую степень вѣроятности имѣютъ, какъ видно, среднія температуры года и лѣтнихъ мѣсяцевъ; вѣроятная ошибка зимнихъ мѣсяцевъ гораздо больше; въ декабрѣ она достигаетъ $\pm 0^0.41$.

Среднія аномальныя отклоненія даютъ возможность рѣшить еще одинъ, весьма важный, климатологическій вопросъ, а именно, сколько лѣтъ нужно наблюдать въ извѣстномъ пунктѣ, чтобы вѣроятная погрѣшность вычисленныхъ среднихъ уменьшилась до даннаго предѣла (напримѣръ, до $0^0.1$). Извѣстно, что вѣроятныя ошибки обратно пропорціональны корнямъ квадратнымъ изъ числа лѣтъ, послужившихъ для нахожденія среднихъ; если при n годахъ наблюденій ошибка равна F, а при n' годахъ ошибка равна $0^0.1$, то

$$\frac{F}{0.1}=\sqrt{\frac{n'}{n}}$$

откуда:

$$n'=n.\ 100.\ F^2..... \qquad (3)$$

На основаніи предыдущей таблицы, 30-лѣтній періодъ достаточенъ въ Одессѣ для полученія средней температуры года съ вѣроятной ошибкой, непревышающей $0^0.1$. Такія вычисленія произведены Вильдомъ для многихъ станцій Россіи [1]).

[1]) Вильдъ. О температурѣ воздуха въ Россійской Имперіи. Спб. 1882, стр. 273.

Digitized by Google

Вышеуказанное понятіе объ аномальномъ отклоненіи можетъ быть примѣнено и къ другимъ метеорологическимъ элементамъ. Аномальныя отклоненія давленія достигаютъ наибольшей величины въ зимніе мѣсяцы и падаютъ къ лѣту; они увеличиваются отъ тропическаго пояса къ высшимъ широтамъ. По отношенію къ давленію, болѣе устойчивы океаны и менѣе устойчивы—континенты (обратно тому, что имѣетъ мѣсто для температуры). Наиболѣе неустойчива въ этомъ отношеніи сѣверо-западная часть Атлантическаго океана (зимою) и полярное море. Köppen далъ слѣдующую таблицу мѣсячныхъ аномальныхъ отклоненій давленія (въ миллиметрахъ):

a) Зима,

широта	0°	10	20	30	40	50	60	70	80
океанъ	3	4	8	16	29	38	54	40	34
континентъ . . .	4	6	9	13	18	25	31	29	—

b) Лѣто,

океанъ	3	4	6	9	16	25	28	25	18
континентъ . . .	4	5	7	10	12	14	19	18	—.

Максимумъ неустойчивости лежитъ подъ 60° с. ш., на океанѣ между Исландіей и Гренландіей. Отрицательныя аномальныя отклоненія вездѣ болѣе значительны чѣмъ положительныя, а это доказываетъ, что большія атмосферическія движенія связаны съ барометрическими минимумами, которые можно разсматривать какъ наиболѣе типичную форму движеній нашей атмосферы. Барометрическіе максимумы можно разсматривать какъ бы промежуточную стадію покоя между двумя серіями вихрей.

Осадки принадлежатъ къ метеорологическимъ факторамъ, которые претерпѣваютъ наибольшія колебанія при переходѣ отъ одного года къ другому. Такъ, *средняя* измѣнчивость мѣсячныхъ среднихъ выражается слѣдующими цифрами:

въ средней Европѣ	45%
» Италіи	55%
» Испаніи и Алжирѣ	60%
» средн. Россіи и въ зап. Сибири	40—50%
» на югѣ и востокѣ Россіи .	60—70%.

Тропическія страны гораздо устойчивѣе.

Digitized by Google

Особенно велика неустойчивость осадковъ въ южной полосѣ Россіи. Въ слѣдующей таблицѣ показано наибольшее и наименьшее количество осадковъ, выпадающихъ въ Одессѣ:

	наибольшее		наименьшее		амплитуда
январь .	95.2 мм.	(1879 г.)	0.4 мм.	(1874 г.)	94.8 мм.
февраль .	67.8 »	(1870 г.)	1.8 »	(1868 г.)	66.0 »
мартъ. .	72.3 »	(1870 г.)	0.9 »	(1873 г.)	71.4 »
апрѣль .	101.8 »	(1881 г.)	0.5 »	(1876 г.)	101.3 »
май . .	122.1 »	(1881 г.)	0.4 »	(1884 г.)	121.7 »
іюнь . .	167.0 »	(1886 г.)	1.0 »	(1877 г.)	166.0 »
іюль . .	130.8 »	(1877 г.)	8.7 »	(1894 г.)	122.1 »
августъ .	103.9 »	(1870 г.)	0.0 »	(1897 г.)	103.9 »
сентябрь.	105.8 »	(1875 г.)	0.0 »	(1892 г.)	105.8 »
октябрь .	106.9 »	(1897 г.)	0.8 »	(1869 г.)	106.1 »
ноябрь. .	95.4 »	(1879 г.)	0.0 »	(1902 г.)	95.4 »
декабрь .	135.3 »	(1878 г.)	1.1 »	(1897 г.)	134.2 »
годъ . .	625.3 »	(1875 г.)	238.5 »	(1872 г.)	386.8 »

Изъ таблицы видно, что количество атмосферной влаги въ Одессѣ претерпѣваетъ огромныя колебанія при переходѣ отъ одного года къ другому; въ іюнѣ 1886 года выпало 167.0 мм. осадковъ, а въ іюнѣ 1877 года лишь 1.0 мм.; въ сентябрѣ 1875 г. измѣрено было 105.8 мм. влаги, а въ 1892 году засуха продолжалась отъ 24 августа по 7 октября, т. е. 45 дней. Въ столь же широкихъ предѣлахъ колеблется запасъ апрѣльскаго и майскаго орошенія. Въ 1872 году выпало осадковъ 238.5 мм., а въ 1875 году—625.3 мм., т. е. въ $2^1/_2$ раза больше. Если прибавимъ къ этому, что при засухѣ сильно увеличивается количество испаряющейся воды, то станетъ яснымъ, что, по распредѣленію осадковъ, край нашъ находится въ крайне неблагопріятныхъ условіяхъ; сельскій хозяинъ не можетъ расчитывать на опредѣленный, хотя бы умѣренный, запасъ влаги, ежегодно рискуя, что вся растительность погибнетъ отъ засухи.

Законы компенсаціи Дове. Всѣ явленія въ природѣ совершаются по извѣстнымъ законамъ. Естественно рождается вопросъ, не существуетъ ли какой-нибудь правильности въ распредѣленіи аномальныхъ отклоненій какъ въ пространствѣ, такъ и во времени? Законность эта дѣйствительно существуетъ и

Digitized by Google

была подмѣчена еще знаменитымъ метеорологомъ Дове. Результаты изысканій Дове можно высказать въ формѣ двухъ законовъ, которые извѣстны подъ именемъ законовъ компенсаціи.

1. Значительныя, положительныя или отрицательныя, отклоненія температуры, замѣченныя, въ извѣстный день, въ *какомъ-либо пунктѣ* земли, не ограничиваются однимъ этимъ пунктомъ; съ значительной долей вѣроятности можно сказать, что отклоненія того же знака распространяются на болѣе или менѣе обширную *поверхность* земли.

2. Значительныя аномаліи извѣстнаго характера, замѣченныя въ *одномъ мѣстѣ*, компенсируются отклоненіями противоположнаго знака въ *другомъ районѣ*.

Возьмемъ частный примѣръ. Аномальныя отклоненія въ Одессѣ, между 17 и 19 ноября 1902 года, имѣли слѣдующія значенія:

	температура въ 7 ч. утра		
	многолѣтняя средняя	въ 1902 г	аномальное отклоненіе
17	3°.9	— 7°.0	—10°.9
18	4.2	—13.0	— 17.2
19	3.3	— 9.0	— 12.3.

Изъ синоптическихъ картъ Главной Физической обсерваторіи видно, что область весьма низкихъ температуръ охватила всю Европейскую Россію и Западную Сибирь; на Уралѣ термометръ упалъ до —38°.

Метеорологическая инерція. Законы эти, конечно, имѣютъ исключительно качественный характеръ и заключаютъ въ себѣ много неопредѣленнаго. Они, напримѣръ, не опредѣляютъ, какъ великъ районъ, который долженъ быть охваченъ отклоненіями, аналогичными по знаку, съ отклоненіемъ, замѣченнымъ въ мѣстѣ наблюденія. Точно также законы эти не опредѣляютъ, гдѣ должна находиться область компенсаціи и какъ велика степень компенсаціи. Тѣмъ не менѣе, вопросу объ аномальныхъ отклоненіяхъ было посвящено весьма много работъ съ цѣлью выяснить причины, вносящія извѣстныя пертурбаціи въ нормальный ходъ физической жизни нашей планеты. Между прочимъ, былъ поставленъ такой вопросъ: не существуетъ ли подобной компенсаціи во времени? Не подчиняются ли измѣненія

Digitized by Google

метеорологическихъ явленій *во времени* слѣдующимъ двумъ законамъ, аналогичнымъ законамъ Дове:

1. Значительное, положительное или отрицательное, аномальное отклоненіе, замѣченное въ данномъ пунктѣ въ *извѣстный день*, не ограничивается однимъ только этимъ днемъ; съ большой долей вѣроятности можно сказать, что отклоненія того же знака распространяются на болѣе или менѣе *длинный рядъ дней*.

2. Значительныя, положительныя или отрицательныя, отклоненія, замѣченныя въ *одномъ періодѣ*, компенсируются противоположнымъ по знаку отклоненіемъ въ *слѣдующемъ періодѣ времени*.

Многіе допускали, что такая компенсація существуетъ даже въ предѣлахъ одного года, что теплая зима влечетъ за собой холодное лѣто или обратно. Но тщательная разработка наблюденій не подтвердила послѣдняго предположенія. Въ предѣлахъ одного года компенсаціи не существуетъ. Напротивъ того, въ природѣ является всегда стремленіе къ сохраненію разъ установившагося характера погоды. Понятіе о компенсаціи въ теченіе года должно уступить, въ общемъ, понятію о существованіи въ атмосферѣ *метеорологической инерціи*. Кöppen вычислилъ вѣроятность перемѣны знака аномаліи температуры

отъ зимы къ веснѣ .	0.489	отъ зимы къ лѣту .	0.444
» весны » лѣту .	0.453	» весны » осени .	0.400
» лѣта » осени .	0.384	» лѣта » зимѣ .	0.496
» осени » зимѣ .	0.445	» осени » веснѣ .	0.516.

Вѣроятность эта, во всѣ времена года, за исключеніемъ перехода отъ осени къ веснѣ, или близка къ половинѣ или меньше ея. Наибольшее стремленіе къ сохраненію характера температуры замѣтно при переходѣ отъ лѣта къ осени (0.384). Hann нашелъ, что послѣ очень холодной или очень теплой зимы въ 70% слѣдуетъ лѣто, имѣющее отклоненіе того же знака; послѣ очень холоднаго или очень теплаго лѣта, только въ 45% случаевъ удерживается тотъ же характеръ зимы. По вычисленіямъ Hellmann'a въ Берлинѣ,

послѣ очень теплой зимы наиболѣе вѣроятно теплое лѣто,
» » холодной » » » холодное »
» » теплаго лѣта » » холодная зима.

Digitized by Google

Изслѣдованія Кёрреп'а. Съ совершенно особой точки зрѣнія разсмотрѣлъ этотъ вопросъ извѣстный метеорологъ Кёрреп.

Въ живомъ ходѣ явленій постоянно смѣняются дни съ различнымъ характеромъ погоды: сухіе и дождливые, съ положительными и отрицательными отклоненіями температуры, съ высокими и низкими давленіями и т. п. Спрашивается, управляется ли эта смѣна погоды какими-нибудь законами или она является результатомъ простой случайности, на подобіе выхода бѣлыхъ и черныхъ шаровъ, вынимаемыхъ изъ урны, или выпаденія орла и рѣшетки при игрѣ въ орлянку. Отвѣтъ на этотъ вопросъ находимъ въ замѣчательной работѣ Кёрреп'а, напечатанной еще въ 1872.

Положимъ, что въ урнѣ перемѣшаны элементы двухъ родовъ a и b (напримѣръ, черные и бѣлые шары). Общее число ихъ равно S. Опредѣлимъ, какъ часто при вынимании этихъ шаровъ, будетъ встрѣчаться комбинація bab. Число всѣхъ различныхъ комбинацій или періодовъ изъ 3 элементовъ равно $S-2$. Очевидно, что

$S\alpha$ — есть число элементовъ вида a,
$S(1-\alpha)$ » » » » b,

гдѣ α представляетъ вѣроятность выхода элемента a на какомъ-либо опредѣленномъ мѣстѣ, напримѣръ, въ серединѣ періода; вѣроятность же, что элементъ b стоитъ на какомъ-либо мѣстѣ, напримѣръ, въ началѣ или въ концѣ періода, равна $(1-\alpha)$; слѣдовательно, вѣроятность комбинаціи bab выразится произведеніемъ отдѣльныхъ вѣроятностей, т. е.

$$(1-\alpha)\alpha(1-\alpha)=\alpha(1-\alpha)^2.$$

Такъ какъ возможное число періодовъ изъ трехъ элементовъ равно $S-2$, то число всѣхъ періодовъ формы bab будетъ

$$p_1=(S-2)\alpha(1-\alpha)^2.$$

На томъ же основаніи, число періодовъ формы $baab$;

$$p_2=(S-3)\alpha^2(1-\alpha)^2;$$

число періодовъ вида $baaab$:

$$p_3=(S-4)\alpha^3(1-\alpha)^2 \qquad \text{и т. д.}$$

Digitized by Google

Общее число всѣхъ періодовъ:

$$P=p_1+p_2+p_3+\ldots=\alpha(1-\alpha)^2[(S-2)\alpha+(S-3)\alpha^2+(S-4)\alpha^3+\ldots].$$

Если S—весьма велико, то можно допустить, что

$$S-2=S-3=S-4=\ldots=S,$$

а слѣдовательно,

$$P=\alpha S(1-\alpha)^2(1+\alpha+\alpha^2+\alpha^3+\ldots).$$

Но
$$1+\alpha+\alpha^2+\alpha^3+\ldots=\frac{1}{1-\alpha}$$

и
$$P=\alpha S(1-\alpha),$$

откуда
$$p_1=P(1-\alpha),$$

$$p_2=p_1\alpha,$$

$$p_3=p_1\alpha^2,$$

и т. д.

Послѣднія уравненія даютъ число различныхъ комбинацій въ предположеніи, что выходъ элементовъ обусловливается простой случайностью. Примѣнимъ эти уравненія къ частному случаю. Въ Брюсселѣ, въ теченіе около 18 лѣтъ (6563 дня), отмѣчено 3407 дней съ дождемъ (элементы a) и 3156 дней сухихъ (элементы b). Вѣроятность

$$\alpha=\frac{3407}{6563}=0.5191,$$

$$1-\alpha=0.4809,$$

$$P=1638$$

$$p_1=787.9$$

$$p_2=409.0$$

. . . .

Въ слѣдующей таблицѣ приведено число различныхъ комбинацій по вычисленію и по наблюденіямъ:

Digitized by Google

	по вычисленію	по наблюденію
изъ 1 элемент. вида *a*	787.9	342
» 2 » ряду вида *a*.	409.0	202
» 3 » » » » .	212.3	141
» 4 » » » » .	110.2	77
» 5 » » » » .	57.2	52
» 6 » » » » .	29.7	40
» 7 » » » » .	15.4	34
» 8 » » » » .	8.0	36
» 9 » » » » .	4.2	16
» 10 » » » » .	2.2	14
» 11 » » » » .	1.1	15
» 12 » » » » .	0.6	5
» 13 » » » » .	0.3	4
» 14 » » » » .	0.2	4
» 15 » » » » .	0.1	7
» 16 » » » » .	0.1	1
» 17 » » » » .	0.0	1
» 18 » » » » .	0.0	0
» 19 » » » » .	0.0	2
всего	1638.5	995.

Изъ сравненія 2-го и 3-го столбцовъ видно, что въ дѣйствительности число короткихъ періодовъ *bab*, *baab*,... меньше, чѣмъ это слѣдуетъ по теоріи вѣроятностей въ предположеніи случайной группировки явленій; для группъ болѣе длиннаго періода имѣетъ мѣсто обратное соотношеніе. Общее число различныхъ періодовъ по вычисленію равно 1638.5, а по наблюденіямъ—995. Другими словами, въ природѣ существуетъ стремленіе къ сохраненію разъ установившагося характера погоды (метеорологическая инерція).

Можно еще другимъ способомъ изслѣдовать поставленный нами вопросъ, а именно, вычислить вѣроятность выхода элемента *b* послѣ появленія элемента *a*; другими словами, опредѣлить вѣроятность *перемѣны* погоды (т. е. ея измѣнчивость). Обозначимъ эту измѣнчивость буквой V; она равна

$$V=\frac{2P}{S};$$

Digitized by Google

но $$P=\alpha S(1-\alpha),$$

слѣдовательно,

$$V=2\alpha(1-\alpha).$$

Для прежняго примѣра:

$$V=0.499.$$

Но въ дѣйствительности

$$2P=1995;\ S=6563$$

и $$V=0.304,$$

т. е. вѣроятность перемѣны по наблюденіямъ гораздо меньше, чѣмъ по теоріи вѣроятностей. Можно также опредѣлить среднюю длину періода

$$L=\frac{S}{2P}=\frac{1}{V},$$

т. е. средняя длина періода есть величина обратная измѣнчивости. Напримѣръ, для Брюсселя:

		температура	дождливые дни
V	по вычисленію	0.498	0.499
	по наблюденіямъ	0.194	0.304
L	по вычисленію	2.01	2.00
	по наблюденіямъ	5.16	3.29.

Можно, наконецъ, вычислить вѣроятность перемѣны послѣ одного, двухъ и болѣе дней одинаковаго характера. Пусть

p_r—число періодовъ изъ r дней одинаковаго характера,

q_r— » » » болѣе чѣмъ r дней одинаковаго характера;

p_r+q_r будетъ число періодовъ, изъ которыхъ каждый содержитъ въ себѣ не менѣе r дней одинаковаго характера. Вѣроятность перемѣны послѣ r дней одинаковаго характера

$$\beta=\frac{p_r}{p_r+q_r}.$$

Для Брюсселя, вѣроятность перемѣны погоды, послѣ 1, 2, 3,... дней одинаковаго характера, выразятся слѣдующими числами:

Digitized by Google

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10—14
Брюссель, темп.	0.251	242	216	206	165	169	148	142	161	139
» дождь	366	319	302	258	266	244	255	304	211	194
Дерптъ, ясно	501	471	342	377	312	333	273	500	500	400
» дождь	459	396	412	376	388	323	370	345	474	247.

Изъ этой таблицы видно, что вѣроятность перемѣны погоды убываетъ съ длиною періода. Послѣ 10 дней дождя, вѣроятность перемѣны равна 0.194 или 0.2, т. е. изъ 10 случаевъ только въ двухъ можно ожидать слѣдующаго сухого дня.

Eisenlohr вычислилъ вѣроятность того, что ближайшій мѣсяцъ [1]) будетъ имѣть отклоненіе текущаго для 12 береговыхъ станцій (рядъ *A*) и 16 континентальныхъ (рядъ *B*):

	I—II,	II—III,	III—IV,	IV—V,	V—VI,	VI—VII,
(A)	0.447	390	326	438	413	378
(B)	431	377	397	471	444	357

	VII—VIII,	VIII—IX,	IX—X,	X—XI,	XI—XII,	XII—I,
(A)	360	366	383	460	443	441
(B)	340	407	445	466	408	419.

Изъ таблички этой видно, что, при переходѣ отъ марта къ апрѣлю и отъ іюля къ августу, можно держать 2 противъ 1, что если текущій мѣсяцъ холодный или теплый, то и непосредственно слѣдующій будетъ имѣть тотъ же характеръ.

Но если компенсація не имѣетъ мѣста въ предѣлахъ одного года, то не обнаруживается ли она въ теченіе болѣе длиннаго періода времени? Другими словами, не смѣняется ли *рядъ* годовъ извѣстнаго метеорологическаго характера *рядомъ* годовъ, имѣющихъ противоположныя свойства? Но тутъ естественный переходъ къ вопросу, которымъ ученые, во всѣ времена, занимались съ особой любовью, вопросу о *многолѣтней періодичности* въ явленіяхъ физической жизни нашей планеты. Къ разсмотрѣнію этого вопроса мы возвратимся въ другомъ мѣстѣ этой книги.

---

[1]) Мѣсяцы обозначены римскими цифрами.

Digitized by Google

Приведеніе къ многолѣтнимъ среднимъ. Въ предыдущихъ главахъ мы сдѣлали краткое обозрѣніе географическаго распредѣленія метеорологическихъ элементовъ (температуры, давленія и др.) на основаніи картъ изолиній. При построеніи этихъ картъ необходимо имѣть средніе величины элементовъ, вычисленныя изъ возможно болѣе длиннаго періода наблюденій. Но существуетъ пріемъ, дающій возможность среднія, найденныя изъ сравнительно короткаго времени, свести къ многолѣтнимъ среднимъ. Этотъ пріемъ основанъ на слѣдующемъ замѣчаніи Lamont'a: если сравнить наблюденія двухъ, не очень удаленныхъ другъ отъ друга, пунктовъ, то разности ихъ среднихъ температуръ сохраняютъ постоянную величину. Свойство это вытекаетъ, очевидно, изъ перваго закона компенсаціи Дове. Если мы, поэтому, имѣемъ 10-лѣтнія наблюденія въ пунктѣ *A* и 50-лѣтнія наблюденія въ сосѣднемъ пунктѣ *B*, то, на основаніи замѣчанія Lamont'a, нетрудно кратковременныя среднія перваго пункта свести къ 50-лѣтнему періоду. Напримѣръ, 10-лѣтнее среднее декабря въ Кремсѣ нужно свести къ многолѣтнему, на основаніи 50-лѣтнихъ наблюденій въ Вѣнѣ (разстояніе 55 километровъ). Среднія температуры декабря слѣдующія:

годы	1875	6	7	8	9	80	1	2	3	4	среди.
Кремсъ .	—1°.9	1.4	—0.2	—2.5	—8.0	3.9	0.1	1.2	0.7	1.4	—0.40
Вѣна . .	—1.7	2.1	0.0	—1.8	—7.3	3.9	0.8	1.7	1.1	2.0	0.07
разность .	—0.2	—0.7	—0.2	—0.7	—0.7	0.0	—0.7	—0.5	—0.4	—0.6	—0.47

Средняя разность равна —0°.47. Но средняя температура декабря въ Вѣнѣ за 50 лѣтъ равна —0°.60; слѣдовательно, средняя температура того же мѣсяца въ Кремсѣ, сведенная къ 50-лѣтнему періоду, приблизительно, равна —0°.60 — 0°.47 = —1°.07. Профессоръ А. И. Воейковъ, въ своемъ курсѣ метеорологіи, даетъ и другой пріемъ для приведенія къ многолѣтнимъ среднимъ. Возьмемъ три пункта *A*, *B* и *C*, расположенные отъ запада къ востоку; пусть разстояніе *AB*=510 килом., а разстояніе *BC*=800 килом. Допустимъ далѣе, что въ точкахъ *A* и *C* имѣются многолѣтнія наблюденія, а въ точкѣ *B*—2-лѣтнія, которыя нужно свести къ многолѣтнимъ. Положимъ, что среднее

[1]) Воейковъ. Метеорологія. III, стр. 411.

Digitized by Google

давленіе за два года въ пунктѣ *B* равно 748 мм., а отклоненія январскихъ давленій за тѣ же годы отъ многолѣтнихъ въ точкахъ *A* и *C* соотвѣтственно равны —4.0 мм. и —0.1 мм. Путемъ интерполяціи находимъ, что отклоненіе январскаго давленія отъ многолѣтней средней въ пунктѣ *B* равно —2.5 мм., а слѣдовательно, многолѣтнее среднее составитъ 748.0+2.5=750.5 мм.

Литературныя указанія.

1) Вильдъ. О температурѣ воздуха въ Россійской Имперіи. Спб. 1882. III часть, стр. 258.

2) Hugo Meyer. Anleitung zur Bearbeitung meteorologischer Beobachtungen für die Klimatologie. Berlin. 1891.

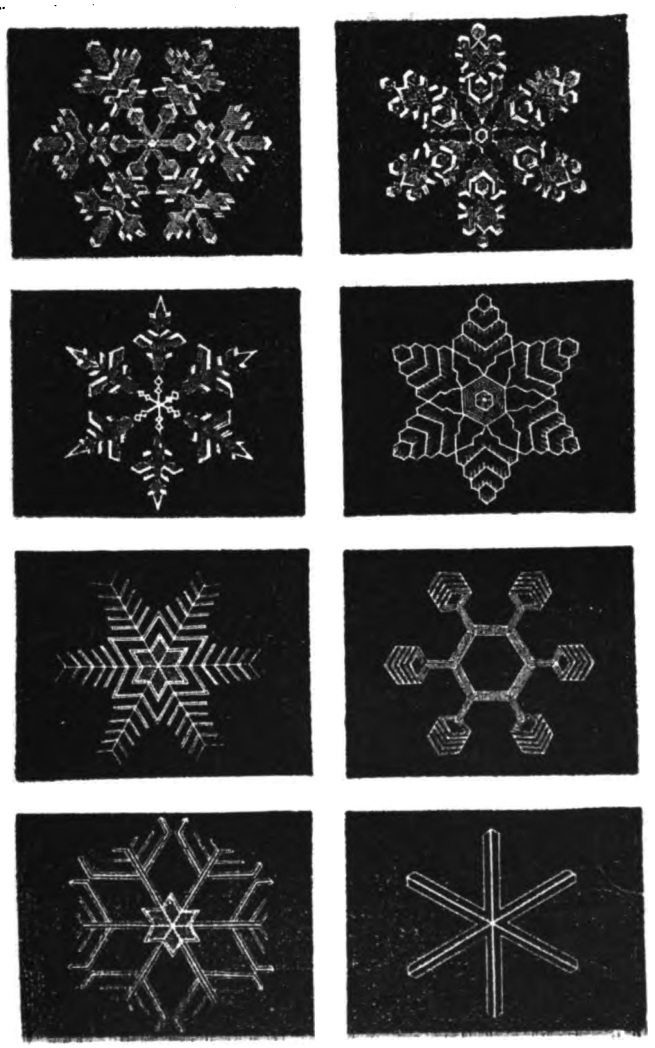
3) Köppen. Die Aufeinanderfolge der unperiodischen Witterungserscheinungen nach den Gründsätzen der Wahrscheinlichkeitsrechnung untersucht. Wild's Repertorium für Meteorologie. Bd. II, 1872.

4) Fechner. Ueber die Bestimmung des Wahrscheinlichen Fehlers eines Beobachtungsmittels durch die Summe der Einfachen Abweichungen. Poggendorff's Annalen, Jubelband. 1874, S. 66.

Digitized by Google

Къ страницѣ 554.

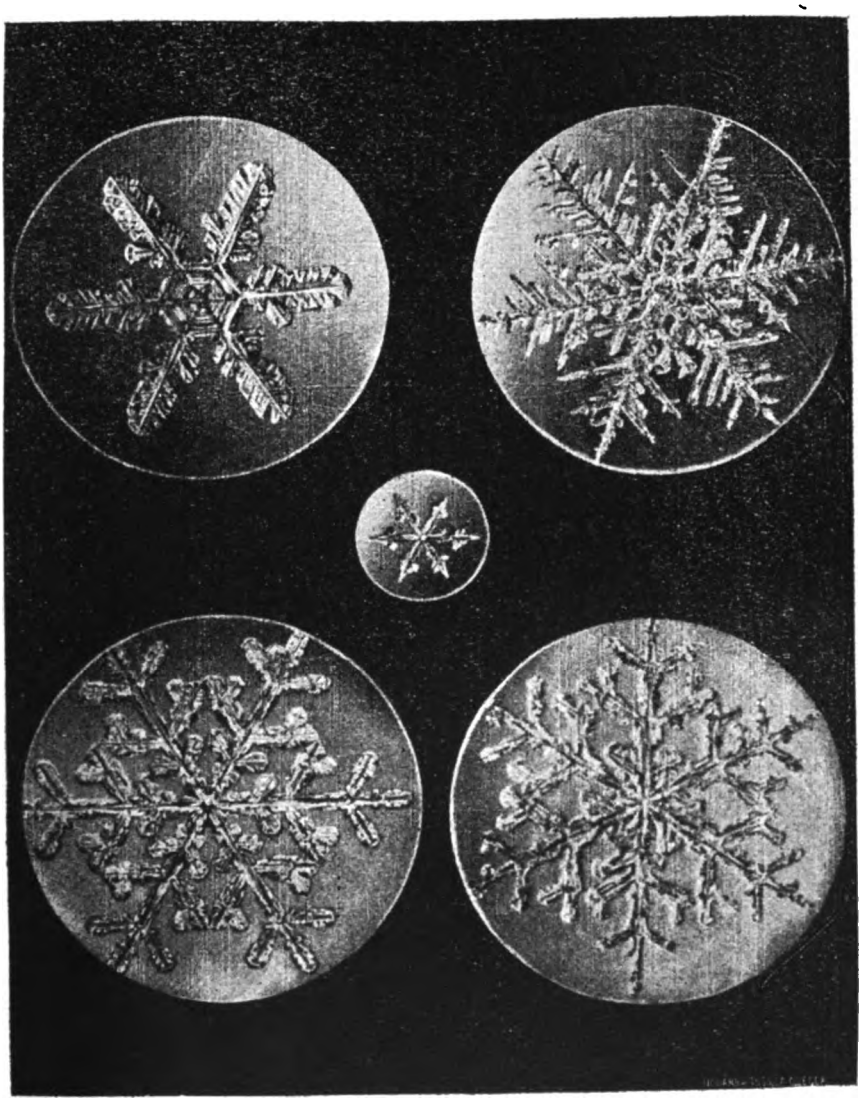
ТАБЛИЦА I.



Digitized by Google

Digitized by Google

Къ страницѣ 554. **ТАБЛИЦА II.**

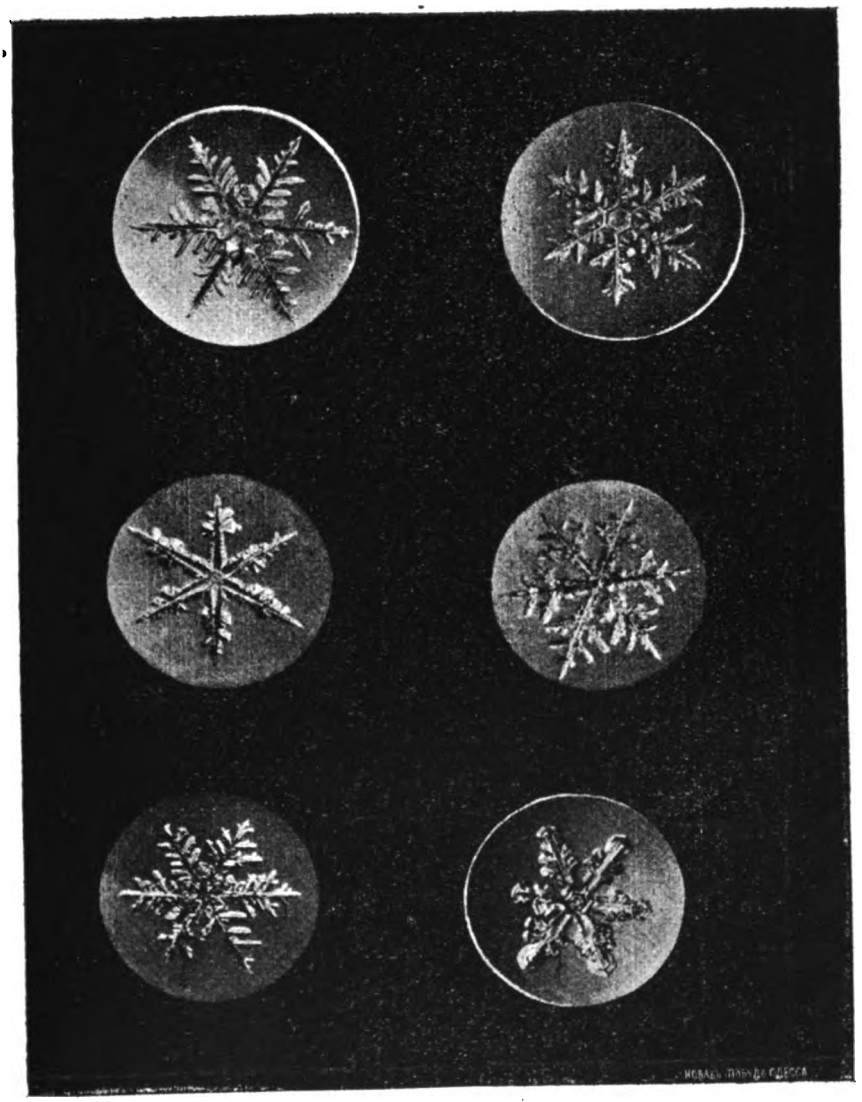


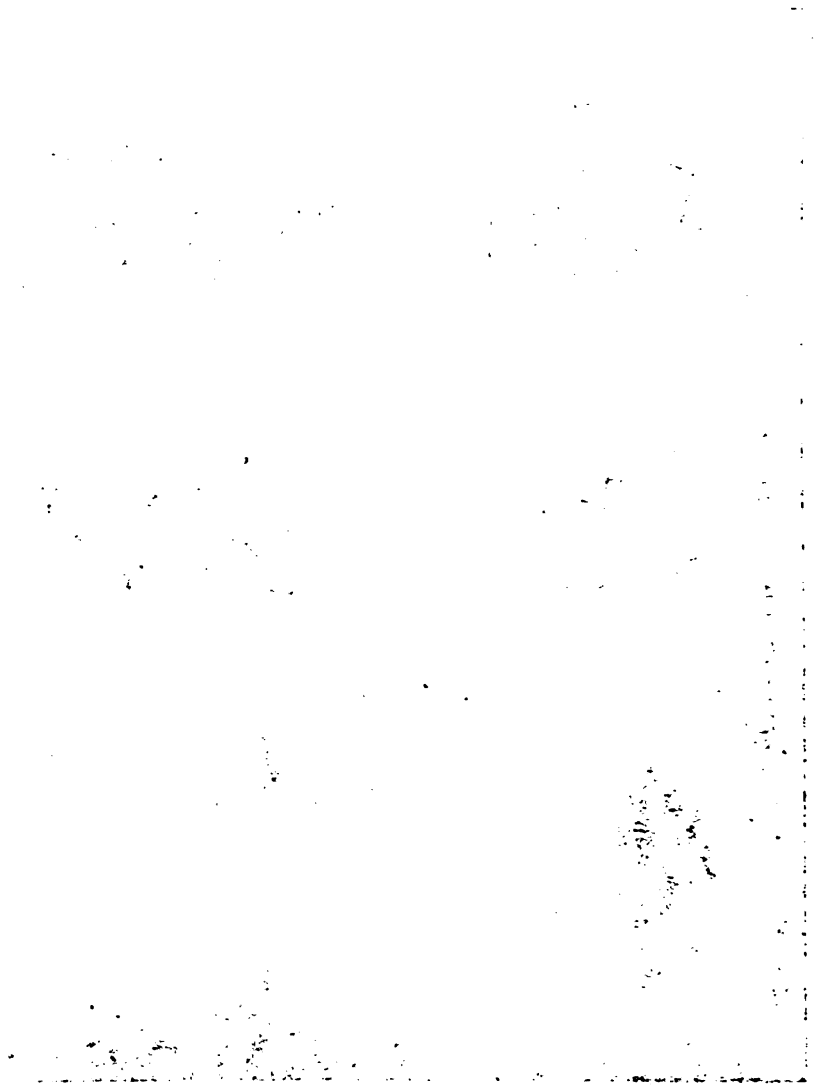
Digitized by Google

Digitized by Google

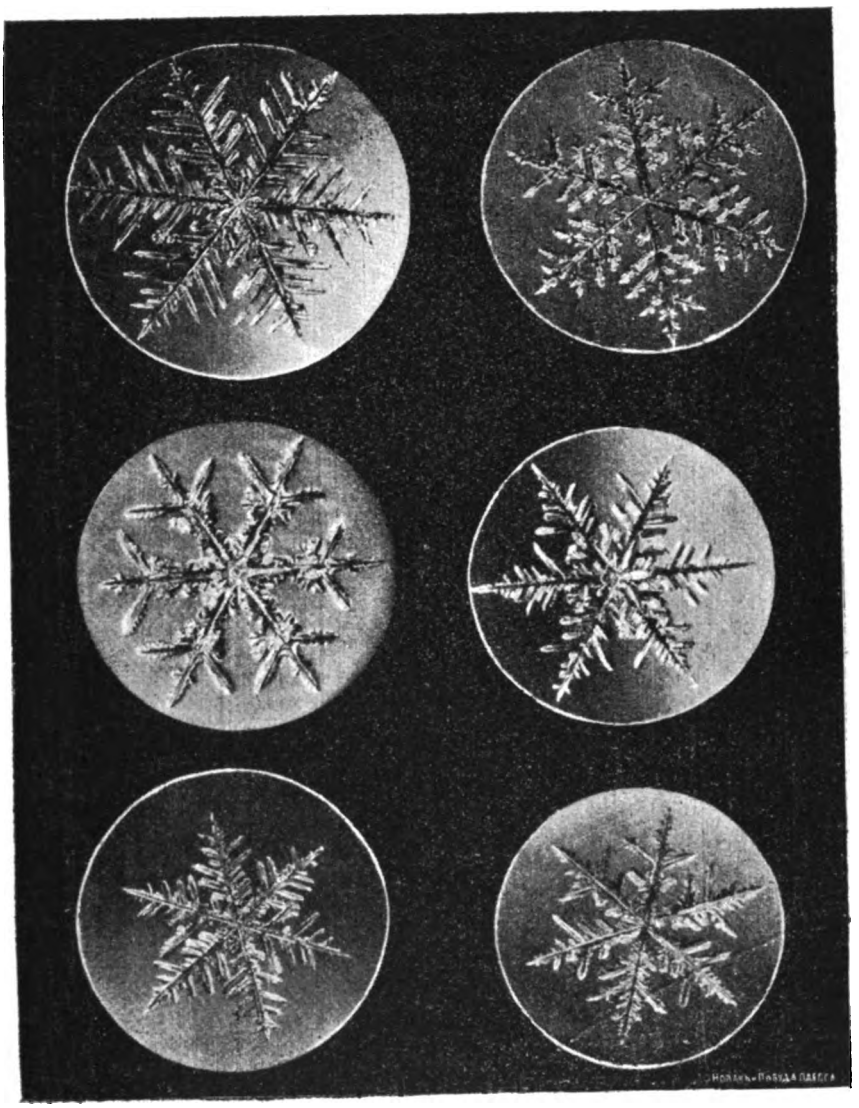
Къ страницѣ 554.

ТАБЛИЦА III.

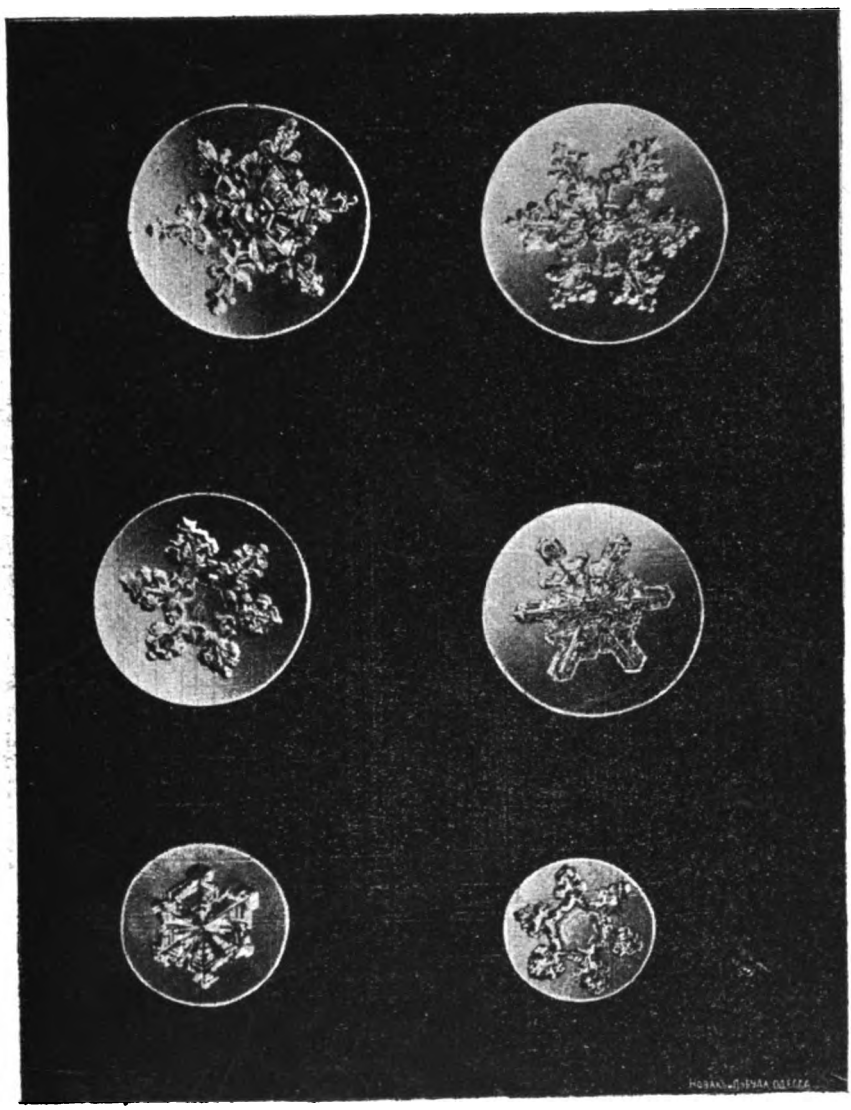




Digitized by Google



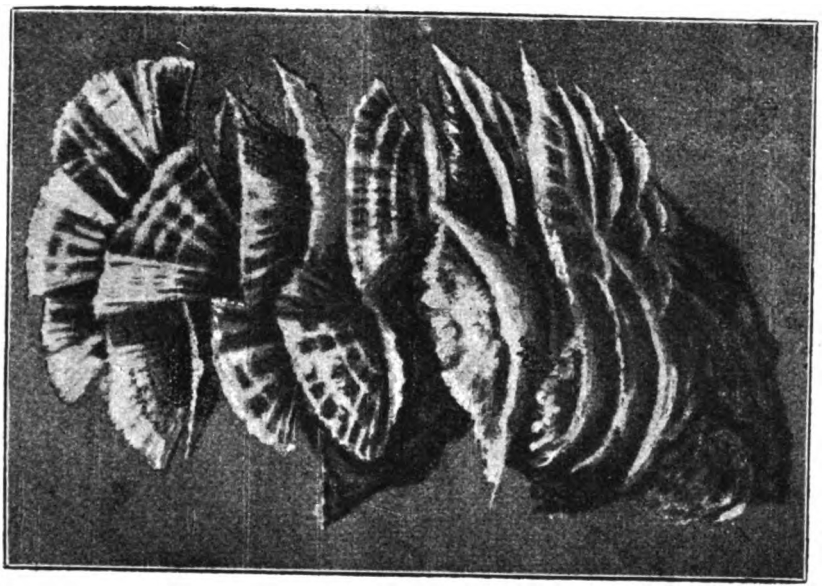
Digitized by Google

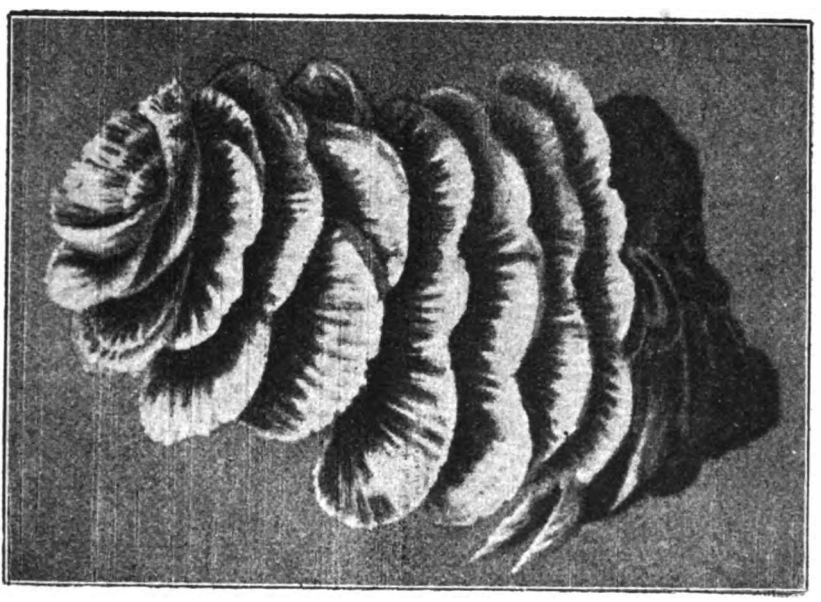


Digitized by Google

Къ страницѣ 554.

ТАБЛИЦА VI.

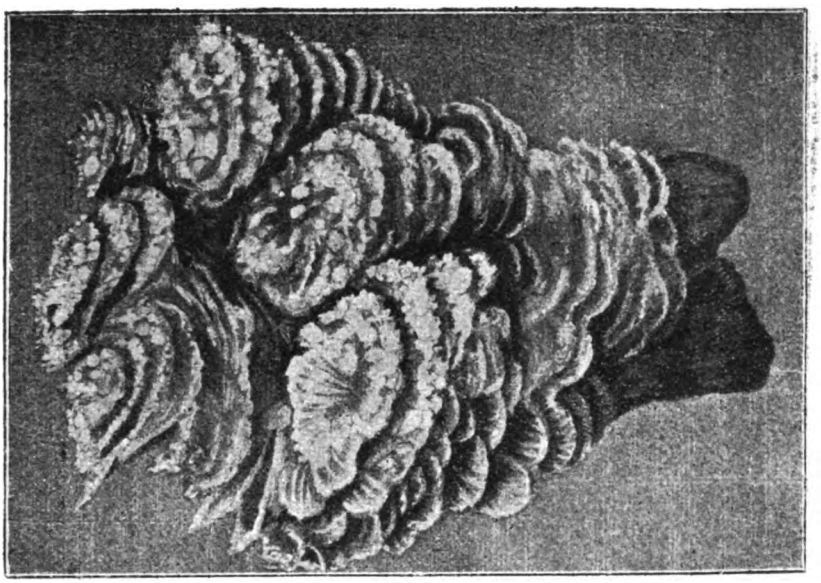


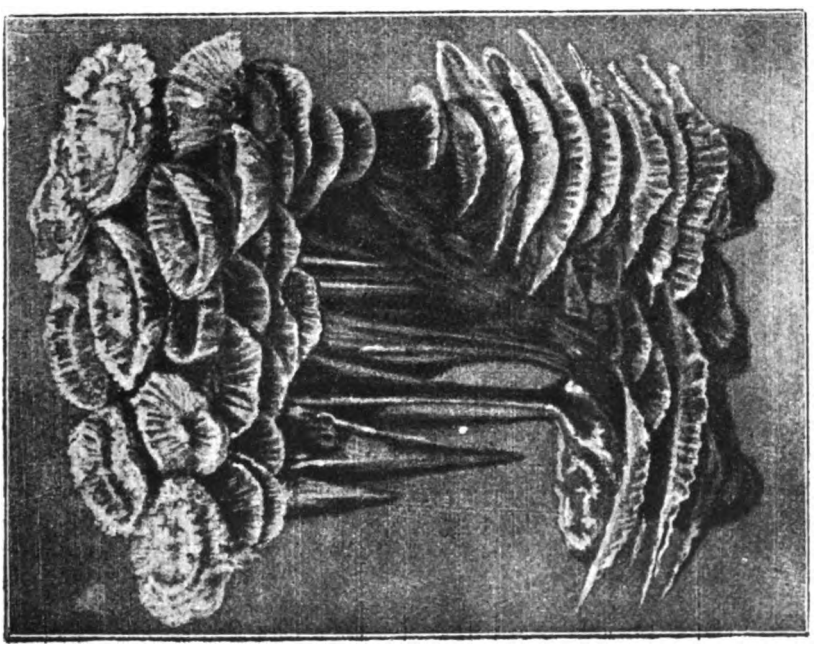


Digitized by Google

Digitized by Google

ТАБЛИЦА VII.



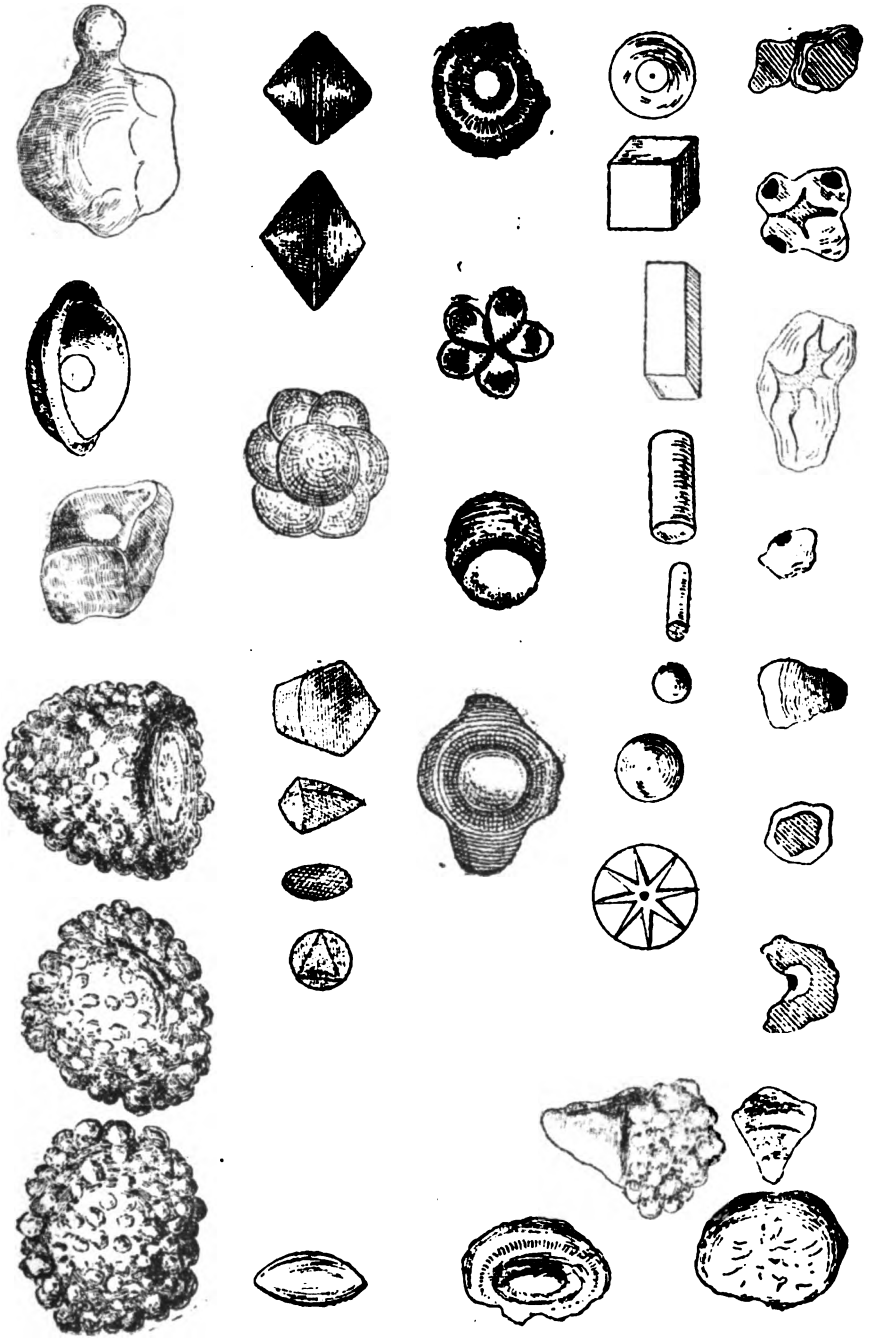


Digitized by Google

Digitized by Google

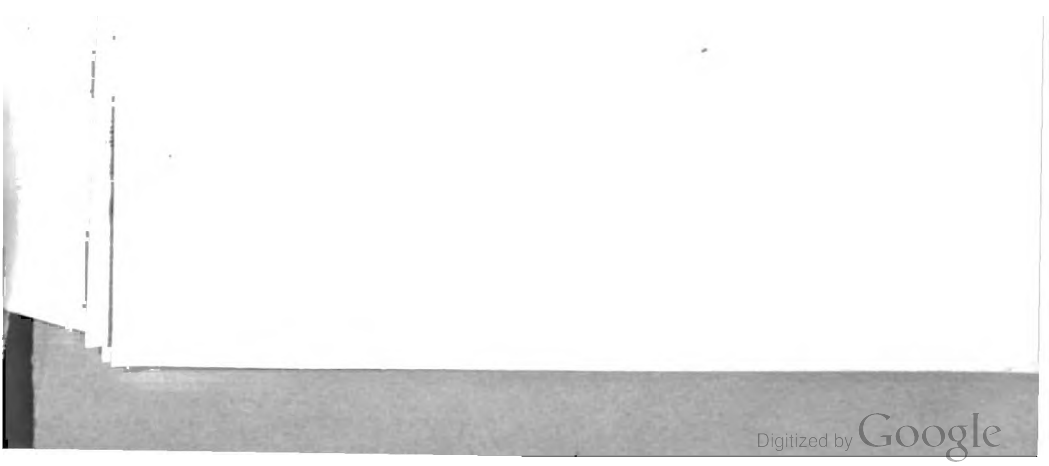
Къ страницѣ 556.

ТАБЛИЦА VIII.



Digitized by Google

Digitized by Google


Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

RETURN TO ➔ CIRCULATION DEPARTMENT
Main Library • 198 Main Stacks

LOAN PERIOD 1 HOME USE	2	3
4	5	6

NRLF

ALL BOOKS MAY BE RECALLED AFTER 7 DAYS.
Renewls and Recharges may be made 4 days prior to the due date.
Books may be Renewed by calling 642-3405.

DUE AS STAMPED BELOW

SENT ON ILL
JUL 08 1997
U. C. BERKELEY

FORM NO. DD6
UNIVERSITY OF CALIFORNIA, BERKELEY
BERKELEY, CA 94720-6000

Digitized by Google

483390
Klossovskiĭ, A. V.
Метеорологія
QC861
K6
v.1

483390

QC 861
K6
v.1

UNIVERSITY OF CALIFORNIA LIBRARY

Digitized by Google

Digitized by Google